Mythes et réalités

LES NEUROSCIENCES EN ÉDUCATION

Emmanuel Sander, Hippolyte Gros,
Katarina Gvozdic, Calliste Scheibling-Sève

RETZ

LES NEUROSCIENCES EN ÉDUCATION

Emmanuel Sander, Hippolyte Gros,
Katarina Gvozdic, Calliste Scheibling-Sève

RETZ
editions-retz.com

Remerciements

Nos remerciements vont en premier lieu à André Tricot qui nous a proposé ce projet et en a assuré le suivi de bout en bout avec une compétence et une bienveillance rares, qui ont permis de renforcer encore le plaisir d'écrire ce livre. Chapeau, André !

Nous avons bénéficié de relectures fort fructueuses de collègues universitaires et enseignants concernant des chapitres spécifiques voire la quasi-totalité de l'ouvrage, dans des délais parfois presque indécents. Leurs apports ont été très précieux et c'est un plaisir pour nous d'exprimer ici toute notre reconnaissance à Thomas Andrillon, Catherine Audrin, Evelyne Clément, Aurélie Coubart, Alexia Forget, Mathieu Galtier, Louise Goyet, Alain Guerrien, Katia Lehraus, Adeline Lucchesi, Maxime Maheu, Géry Marcoux, Maria Pereira, David Piot, Sébastien Puma, David Sander, Walther Tessaro. Il va sans dire que la responsabilité des erreurs qui auraient subsisté dans l'ouvrage reste entièrement la nôtre.

Emmanuel Sander est professeur à la Faculté de Psychologie et des Sciences de l'Education (FPSE), Université de Genève, directeur du laboratoire Instruction, Développement, Éducation, Apprentissage (IDEA Lab).

Hippolyte Gros est doctorant en Sciences Cognitives, assistant Recherche et Enseignement à la FPSE, Université de Genève, IDEA Lab.

Katarina Gvozdic est doctorante en Psychologie Cognitive de l'Éducation, assistante Recherche et Enseignement à la FPSE, Université de Genève, IDEA Lab.

Calliste Scheibling-Sève est doctorante en Psychologie Cognitive de l'Éducation, Laboratoire Paragraphe (Université Paris 8), Fondation La main à la pâte, IDEA Lab.

Cet ouvrage suit l'orthographe recommandée par les rectifications de 1990 et les programmes scolaires. Voir le site http://www.orthographe-recommandee.info et son mini-guide d'information.

Direction éditoriale

Sylvie Cuchin

Édition
Anne Marty

Direction artistique et mise en page
Lauriane Tiberghien

Corrections
Florence Richard

© Éditions Retz, 2018
ISBN : 978-2-7256-7644-9

SOMMAIRE

4 **Introduction**

11 **Chapitre 1 :** Dans l'IRM, tout s'éclaire

29 **Chapitre 2 :** Tout se joue avant 1/2/3/4/5/6/7/8 ans

45 **Chapitre 3 :** À chacun son style d'apprentissage

61 **Chapitre 4 :** Il existe 8 formes et demie d'intelligence

77 **Chapitre 5 :** Quand je dors, j'apprends

95 **Chapitre 6 :** Se tromper, c'est échouer

111 **Chapitre 7 :** Si je veux, je peux

125 **Chapitre 8 :** Au contact des écrans, notre cerveau et notre façon d'apprendre se transforment

146 **Conclusion**

154 **Références**

INTRODUCTION

De nos jours, la possibilité d'édifier une science du cerveau en mesure de répondre aux questions les plus lancinantes et les plus fondamentales qui taraudent l'humanité depuis des temps immémoriaux semble à portée de main. À sa source, l'identification d'une « particule élémentaire » : le neurone. Cellule nerveuse présente en énorme quantité dans le cerveau, le neurone est, on le sait, bien loin d'être l'unique et insécable composant du cerveau. Pourtant, étant donné sa présence cérébrale importante, il apparait, dans la communauté scientifique aussi bien que dans l'imaginaire collectif, comme l'élément idéal dont pourrait découler la compréhension des mystères de la pensée.

L'idée d'une telle brique de base dont tout édifice serait formé est sécurisante pour une discipline et semble garante de progrès. En effet, une fois découverte la brique, ce sont sa constitution, ses interactions avec les autres briques et le reste de l'écosystème qu'il s'agit de comprendre. En tout cas, un cadre est posé à l'intérieur duquel la connaissance peut prospérer. Tout comme l'ADN fait consensus parmi les biologistes et l'atome parmi les physiciens, la psychologie est en quête d'une entrée qui permette à une communauté d'avancer durablement et de manière fructueuse. Le neurone reste une découverte scientifique relativement récente, ce qui laisse penser qu'il est encore loin d'avoir livré tous ses secrets. En outre, les progrès technologiques incessants rendent possibles des observations d'activités cérébrales avec une définition temporelle et spatiale qui repousse sans cesse les frontières de l'impénétrabilité : le cerveau, traditionnellement considéré comme une boite noire opaque, a cessé d'être fermé à l'investigation. On peut désormais percevoir en temps réel et avec un certain niveau de détail de multiples marques de son activité. L'espèce humaine voit là l'espoir de se comprendre elle-même.

N'est-ce pas un des plus grands défis concevables que d'être devenu suffisamment complexe pour s'attaquer à la compréhension de sa

propre complexité ? Il s'agit, pêle-mêle, d'avoir accès aux substrats biologiques des idées, des émotions, de l'inspiration, de la logique, de la créativité, de la conscience, de la spiritualité, de l'abstraction, des modes et formes de pensée, de la construction de connaissances, du développement de la personnalité, de la motivation, de l'intelligence, etc.

Les disciplines scientifiques ont toujours été classées en deux camps. D'un côté on trouve les sciences dures, dont les propositions seraient objectivement démontrables par des observations et des expérimentations systématiques, autrement dit de manière empirique. De l'autre, il y a les sciences humaines, où manque l'identification d'un substrat sur lequel s'appuyer pour assurer ces preuves empiriques. Assiste-t-on à la fin de cette dichotomie ? La prise en compte « objective » de phénomènes cérébraux pourrait-elle mettre tout le monde d'accord et permettre de tester des principes et des lois de sciences humaines ? Le neurone parviendra-t-il à « durcir » les sciences humaines ?

L'imaginaire collectif parait tout prêt à adhérer sans retenue à cette idée, car toute considération appuyée sur des résultats de travaux en neurosciences semble se trouver soudainement auréolée de rigueur scientifique. La neuromania est d'envergure, se manifestant par une litanie de « neuroémergences » qui ont poussé comme des champignons ces dernières décennies, tant dans le champ de la recherche académique que dans diverses de ses émanations plus ou moins respectables et à buts plus ou moins lucratifs. L'usage du préfixe « neuro » semble ainsi faire revêtir soudain les habits de la science à des disciplines qui, jusque-là, étaient plutôt réputées pour leur forte teneur idéologique et leurs faibles fondements empiriques, ou tout au moins pour leur faculté à ouvrir la moindre observation à une large diversité d'interprétations. Il n'est pas rare, dans certains de ces champs, d'entendre un débatteur asséner l'argument « neuronal » : « les recherches sur le cerveau ont montré que… », en faisant un argument d'autorité et indiquant ainsi que l'on est passé des opinions aux faits, que de cela il n'y a plus à débattre, mais que le moment est venu pour l'exploration des retombées du phénomène

maintenant identifié et pour procéder à son opérationnalisation dans le champ disciplinaire concerné. La posture adoptée est celle d'une science du cerveau ayant attesté la validité de certaines idées, qu'il convient donc d'adopter comme des postulats afin de les faire fructifier.

Puisque certains détenteurs du savoir neuronal se prévalent d'observations d'activités cérébrales, validées par des méthodes d'investigation empruntées aux sciences du vivant, ils deviennent alors des initiés dont la parole vaut plus que celle de ceux qui ne s'appuient pas sur ces avancées. Neuromarketing, neuroéconomie, neuromanagement, neurofinance, neuroesthétique, neuroergonomie, neurosociologie, neuroanthropologie, neuropolitique, neurocréativité, neurosagesse, neurodesign, neuroméditation, neuroachitecture, neurogastronomie, neurophilosophie, neuropsychanalyse, neuroéthique… Neuro, *ad nauseum* ? Ce neuroinventaire à la Prévert embrasse un large spectre de champs d'investigation, et amène à se demander si cet engouement conjoncturel sera suivi par un effet quasi mécanique de balancier conduisant à la modestie face aux éventuelles déconvenues rencontrées. Ce qui constituerait un mouvement comparable à celui de l'intelligence artificielle des années 1960, où les débuts de cet âge d'or conduisaient d'aucuns à prédire la possibilité d'une machine parfaitement intelligente dans les vingt ans à venir. Ou, à l'inverse, se dirige-t-on vers un avenir où toute formation en marketing, économie, management, esthétique, ergonomie, sociologie, archéologie, etc. comprendra de manière incontournable des modules de neuroscience, tout simplement parce que les avancées scientifiques en la matière auront rendu évidente la nécessité de sa présence, comme c'est le cas actuellement pour un cours d'anatomie dans une formation médicale ou paramédicale ?

Nous sommes dans un contexte engendreur de mythes, résultat d'une rencontre entre des attentes élevées, une certaine naïveté épistémologique et des résultats scientifiques spectaculaires, fruits de technologies innovantes et produits par une communauté de chercheurs qui vit l'enivrante expérience de repousser les frontières

du défi de se comprendre soi-même. Comment leur enthousiasme pourrait-il ne pas être communicatif lorsque le terrain est si fertile ? D'où la prolifération de neuromythes, phénomène d'une telle ampleur qu'ils sont devenus un objet de recherche à part entière (Pasquinelli, 2012 ; Howard-Jones, 2014). Un neuromythe tient pour établies scientifiquement, par le biais d'observations d'activités neuronales, de supposées caractéristiques du cerveau et de la psychologie humaine. Toutefois, et à la différence des controverses scientifiques, les neuromythes se repèrent par le fait que les auteurs de travaux qui sont cités comme décisifs ne se reconnaissent pas eux-mêmes dans les conclusions qui sont tirées de leurs recherches : ils voient un dévoiement dans les extrapolations qui sont faites par d'autres des résultats de leurs travaux.

Est-on pour autant face à une manifestation de pseudoscience dès lors qu'une discipline s'accole ou se voit accoler l'épithète « neuro » ? Certainement pas. La neuropsychologie a, par exemple, une assise scientifique et historique incontestable. Et surtout, les talents exceptionnels de scientifiques pionniers mondialement reconnus dans leur discipline, qui font progresser la mise en lien de leur discipline avec ce que peut révéler de pertinent à leur propos notre organe de la pensée, ne peuvent certainement pas être balayés d'un revers de la main. En revanche, il est vrai que dans le cas de certaines des neuroémanations précédemment évoquées et certains individus qui tentent de les exploiter, il faut être particulièrement charitable, pour le dire avec douceur, pour défendre une possible légitimité scientifique et pour voir autre chose qu'un racolage dans cet accolage. Par exemple, une entreprise promeut une méthode d'apprentissage des langues étrangères qui « utilise 100 % de vos capacités mentales naturelles [...] Le système de codage subconscient de la langue dans le cerveau [...] agit différemment. Il stimule notre cerveau à produire des ondes électromagnétiques appropriées à la bonne fréquence. [...] Une bonne préparation permet "d'implanter " certaines habitudes dans le subconscient et de les programmer de façon permanente dans votre esprit, ce qui réduira considérablement le temps d'apprentissage. [...] la formule en 2 semaines

d'apprentissage automatique [...] synchronise simultanément les hémisphères droit et gauche du cerveau ». Toute personne ayant des connaissances en neurosciences perçoit l'escroquerie, mais tout le monde n'a malheureusement pas cette expertise.

Les confusions dans la désignation même des notions en jeu constituent un obstacle supplémentaire pour y voir clair : on ne sait pas toujours bien de quoi l'on parle ! En effet, les neurosciences au sens large ont pour objet l'étude des fonctions et de la structure du système nerveux. Toutefois, lorsque le sujet est l'éducation ou un autre des domaines mentionnés précédemment, il est presque toujours question de neurosciences cognitives. Ces dernières désignent la partie des neurosciences qui prend pour objet la cognition : elles relèvent des sciences cognitives ou sciences de la cognition, qui visent à l'étude de la pensée, ou encore de la vie mentale. Au premier plan s'y trouve l'étude de la nature, de la structure et de la formation de connaissances, conformément à l'étymologie du terme « cognitif », dérivé du latin *cognitivus* « qui concerne la connaissance ». Les sciences cognitives s'appuient sur une nébuleuse de disciplines comprenant, outre les neurosciences, la psychologie, la philosophie, la linguistique, l'anthropologie, l'informatique, les mathématiques, etc. Isolément, les neurosciences sont muettes sur l'éducation, si bien que des apports effectifs ne sont concevables qu'en les inscrivant dans le cadre des sciences cognitives (Andler, 2018). C'est en prenant appui sur les apports théoriques de leur discipline et en s'articulant dans la transdisciplinarité que la psychologie expérimentale, l'analyse linguistique, les démarches et les cadres philosophiques et anthropologiques, l'intelligence artificielle, la modélisation mathématique et les neurosciences cognitives convergent tous vers une meilleure compréhension des phénomènes, ainsi que vers la construction et l'évaluation de progressions d'apprentissage en classe intégrant les résultats de la recherche. Il est alors crucial d'aller au-delà des raccourcis auxquels se prêtent les idées séduisantes sur l'éducation qui se sont répandues en prenant comme alibi les neurosciences. Tout comme il faut se prémunir contre les amalgames

qui sont faits en mêlant sans discernement des approches qu'il convient de distinguer pour ne pas créer de confusion.

Mais les neurosciences – cognitives donc ! – fournissent-elles dans cette convergence de disciplines un apport effectivement utile pour l'éducation au-delà du caractère fascinant de l'accroissement des connaissances sur le fonctionnement de notre cerveau ? Il est fondé de se demander si cette incursion dans la plus stricte intimité du cerveau, celle de ses neurones, est porteuse de lois pour l'éducation, au même titre que celle de la cellule est porteuse de lois pour la santé, que celle des molécules est porteuse de lois pour la chimie, que celle des atomes de lois pour la physique. C'est l'objet de disciplines émergentes qui intègrent les travaux de neurosciences sur les apprentissages et, parfois, se nomment neuroéducation, neuropédagogie ou neurodidactique. Elles envisagent de (re)fonder une science de l'éducation dont le socle serait les connaissances neuronales ; leur actualité est vive (Berthier *et al.*, 2018 ; Borst & Houdé, 2018 ; Dehaene, 2018 ; Eustache & Guillery, 2016 ; Houdé 2018 ; Masson & Borst, 2018 ; Rossi, Lubin, & Lanoé, 2017). Sommes-nous alors dans les prémisses d'un avenir où les faits neuronaux sur le fonctionnement de la mémoire, sur les phénomènes d'apprentissage et de transfert de connaissances, sur les processus perceptifs, sur les mécanismes d'intégration de l'information, sur la métacognition, etc. auront donné lieu à des ingénieries pédagogiques au sein desquelles chaque composant sera calibré pour optimiser la qualité de l'éducation ? Il est trop tôt pour le dire. Toutefois, il est temps de construire un état des lieux, et de passer au crible des travaux actuels un ensemble d'idées qui ont une forte popularité dans les milieux de l'éducation, sans que toute personne non spécialisée dans ces questions ne puisse dire si elles tiennent de la pure affabulation ou si elles recèlent de puissants leviers pour l'école.

Dans le cas où ils sont détectés, les neuromythes ont pour conséquence délétère d'inciter au rejet tout entier des idées qu'ils portent et de pousser à répondre à l'exagération qu'ils constituent par l'exclusion en bloc de toutes les neurosciences. D'où l'importance

d’analyses poussées afin de ne pas devenir aussi caricatural dans son rejet qu‘on l‘a été dans son adhésion et de ne pas remplacer un extrémisme par un autre. En effet, une littérature spécialisée est produite de par le monde par une communauté de chercheurs en neurosciences extrêmement motivée, compétente et ambitieuse, sur des objets de recherche qui jouxtent des enjeux éducationnels, voire les abordent de front.

Dans les chapitres qui suivent, nous nous appuierons sur des travaux précis et tenterons de passer au filtre d’un examen critique exigeant un ensemble d’affirmations régulièrement exprimées dans le champ de l’éducation. Chaque chapitre aura pour intitulé une opinion répandue en lien avec les neurosciences, sans que les personnes qui expriment cette opinion soient le plus souvent en mesure d’apporter des arguments probants pour l’étayer. Cela nous conduira parfois à simplement identifier un neuromythe et à déposséder ainsi de légitimité scientifique l’affirmation en question. Dans d’autres cas, à nuancer, contextualiser, reformuler, spécifier, mettre en perspective, repenser des propositions dont certains fondements semblent solides, mais qui se sont répandues sous forme de raccourcis séduisants mais caricaturaux et imprécis.

1

DANS L'IRM, TOUT S'ÉCLAIRE

LE MYTHE

« Ne croire que ce que l'on voit » ou « Ne voir que ce que l'on croit » ?

Pour Saint-Thomas, il n'y a pas à tergiverser sur cette question, la messe est dite : il acceptera la résurrection du Christ seulement s'il voit les stigmates de la crucifixion sur les mains de ce dernier (« Si je ne vois dans ses mains la marque des clous, [...], je ne croirai point. »), et Jésus reconnait une certaine légitimité à sa demande car il lui donne satisfaction : « Il dit à Thomas : "Avance ici ton doigt, et regarde mes mains" ; pourtant le Christ avertit en même temps : "Tu m'as vu et tu crois. Heureux ceux qui n'ont pas vu et qui croient." ».

Même si le rapport à la preuve est bien différent entre science et religion, cette citation n'en soulève pas moins une question constitutive de l'épistémologie de n'importe quelle discipline. Elle relève des liens entre *percevoir* et *concevoir*, qui ne sont pas d'une simplicité biblique. La vision naïve que l'on peut avoir est que le « fait » est perceptif, que la « connaissance » est intellectuelle et que la seconde est une abstraction du premier. La perception sensorielle donne confiance dans la réalité de ce qui est perçu et la confiance est peut-être encore plus grande pour la perception visuelle que pour les autres perceptions sensorielles. Dans une des citations les plus célèbres de son œuvre, le philosophe Emmanuel Kant marque l'évidence, pour lui, de sa conscience morale en la comparant avec une perception visuelle : « Le ciel étoilé au-dessus de moi et la loi morale en moi », dit-il. Et pour un autre philosophe allemand, Friedrich Nietzsche, la relation est encore plus explicite et, apparemment, paradoxale car l'atteinte de l'abstraction la plus grande se voit conditionnée par la concrétude la plus forte : « Plus abstraite est la vérité que tu veux enseigner, plus tu dois en sa faveur séduire les sens. » Le sensoriel apparait comme le pendant nécessaire du conceptuel.

Comme cette citation de Nietzsche le marque, la relation entre perception et conception est toutefois ambivalente, car il ne s'agit pas selon lui de démontrer mais de « séduire en sa faveur ». Cette citation affirme donc que voir fait bien croire, mais pas forcément à bon escient. Le passage de « voir fait croire » à « croire fait voir » devient alors aisé. D'une causalité orientée dans une certaine direction (« telle perception est la cause de telle abstraction »), on peut passer à une simple corrélation (« une certaine abstraction et une certaine perception se produisent de manière concomitante, ce qui favorise la croyance dans cette abstraction » pour reformuler la citation de Nietzsche). La corrélation devient compatible avec une inversion de la causalité (« telle abstraction est la cause de telle perception » : « Je vois ce que je crois »), car pourquoi privilégier une direction plutôt que l'autre ? Dans cet enchainement, nous sommes passés, pour prendre le vocabulaire contemporain des sciences cognitives, d'une conception ascendante des processus mentaux, guidée par les données sensorielles, selon laquelle la perception produit la connaissance (« Je ne crois que ce que je vois »), à une conception descendante, guidée par les connaissances, dans laquelle ce qui est perçu est conditionné par ce qui est connu (« Je ne vois que ce que je crois »). Nous ne sommes pas ici dans la simple spéculation. Dans le champ des recherches sur la perception visuelle, il est maintenant commun de considérer la perception non pas comme objective mais comme une interprétation, dans le sens où elle est influencée par des facteurs contextuels et par les connaissances de l'individu (la composante descendante des processus que nous venons de mentionner). C'est ce phénomène qui explique, par exemple, que l'on peut parfois ne pas remarquer qu'il manque une lettre dans un mot que l'on est en train de lire car notre connaissance de l'existence de ce mot supplée l'absence d'information visuelle, jusqu'à nous donner l'illusion que la lettre est présente.

Une intrication des processus ascendants et descendants est également montrée dans de nombreuses recherches, ce qui conduit à l'idée que certes l'on ne conçoit pas indépendamment de ce que l'on perçoit, mais que néanmoins l'on ne perçoit pas indépendamment de

ce que l'on conçoit. Ainsi, dans une étude publiée il y a quelques années dans la revue *Science*, opportunément intitulée « *Does the "Why" Tell Us the "When" ?* »[1], Bechlivanidis et Lagnado (2013) ont entrainé des participants à un jeu vidéo où certains évènements en causaient d'autres, les premiers survenant avant les seconds. Dans une deuxième phase du jeu, les règles étaient modifiées sans que les participants en soient avertis, si bien que l'ordre temporel se trouvait en réalité inversé. Les chercheurs ont trouvé que les participants continuaient de penser que les règles initiales s'appliquaient et avaient l'illusion que certains évènements survenaient avant d'autres alors qu'en réalité l'inverse se produisait. Une autre illustration de l'interaction entre processus ascendants et descendants est le fait que si l'on colore en rouge un vin blanc et qu'on demande à des dégustateurs pourtant aguerris de commenter leur dégustation (Morrot, Brochet & Dubourdieu, 2001), ils ne remarquent en général pas qu'il s'agit de « faux » vins rouges lorsqu'ils les goutent. Ils appliquent sans hésiter à ceux-ci des adjectifs qui relèvent de la terminologie de la dégustation des vins rouges : les vins qualifiés précédemment comme sentant les fleurs ou l'ananas dans leur version non colorée se voient attribuer des arômes de framboise ou de mure après coloration (pourtant inodore, il va sans dire !). Ainsi la transformation de la perception visuelle produit une transformation de la perception olfactive.

Or les techniques de pistage des activités cérébrales, en progrès ininterrompus depuis plusieurs décennies, produisent des données sur les processus neuronaux, à partir desquelles il est possible de dériver des images censées refléter ces processus neuronaux. Cette perception visuelle est-elle un chemin direct vers une conception objective de nos processus mentaux ? Mais que peut nous dire la recherche scientifique sur la pertinence de cette intense *neurophilie* ? S'agirait-il d'une neuroillusion cognitive (Gentaz, 2017) ? L'engouement du public est-il le juste fruit de résultats utiles et convaincants, produits par les neurosciences ? Ou bien, soutenu par cette ambivalence tenace entre *percevoir* et *concevoir*, cet enthousiasme tient-il davantage d'un effet de mode, porteur d'une

fascination indifférenciée, parfois tout à fait légitime, parfois franchement crédule, touchant le grand public mais peut-être aussi les chercheurs eux-mêmes ? De manière opportune, il se trouve que la recherche a produit elle-même l'analyse de sa propre réception par le grand public, en s'interrogeant sur les biais pouvant affecter son auditoire. Des chercheurs en sciences cognitives ont en effet choisi pour objet de leur recherche la perception par le public des résultats issus… de la recherche en sciences cognitives. Par cette habile mise en abime, la réception critique de textes scientifiques par le public a pu être mesurée au sein de plusieurs situations expérimentales contrôlées.

QU'EN DIT LA RECHERCHE ?

Les sciences cognitives dans le miroir

En 2008, McCabe et Castel ont ainsi mené trois expériences étudiant l'impact de différents types de supports visuels accompagnant une série de textes de vulgarisation portant sur les neurosciences cognitives. L'idée sous-jacente à cette étude était de montrer l'existence d'un biais chez les lecteurs en faveur d'images de cerveau par rapport aux autres types de supports pouvant accompagner les articles de presse. Dans leur première expérience, les auteurs ont ainsi rédigé une série de textes de vulgarisation scientifique, présentant des résultats fictifs mais néanmoins crédibles. Ces textes avaient la particularité de tous inclure de subtiles erreurs de raisonnement logique, dues à l'usage de certains raccourcis fallacieux. Par exemple, l'un des textes indiquait que, puisque la même région du cerveau s'active lors de la résolution d'opérations arithmétiques et lors du visionnage d'une émission télévisée, alors regarder la télévision devrait améliorer les compétences arithmétiques. Il s'agit là, bien sûr, d'une conclusion erronée, à laquelle il ne devrait pas être possible d'aboutir avec les informations

fournies, car cette concomitance de localisation cérébrale, même si elle était exacte, ne montrerait rien de l'influence réciproque des deux phénomènes. La tâche qui était confiée aux lecteurs (156 étudiants américains, âgés entre 18 et 25 ans) était d'évaluer la validité du raisonnement scientifique de chacun des articles présentés. Il leur était ainsi demandé de noter, sur une échelle en quatre points (« pas du tout d'accord », « pas d'accord », « d'accord », « tout à fait d'accord »), la déclaration suivante : « le raisonnement scientifique dans cet article est correct ». Chaque participant évaluait ainsi 3 textes : un accompagné d'une image de cerveau, un accompagné d'un graphique de type histogramme, et un pour lequel aucune image n'était présentée.

Les résultats de l'étude ont montré que les participants étaient davantage en accord avec la déclaration « le raisonnement scientifique dans cet article est correct » lorsque l'article était accompagné d'une image de cerveau, que lorsqu'il était accompagné d'un histogramme ou présenté sans image. Autrement dit, la présence d'une image de cerveau avait tendance à convaincre les participants de la validité scientifique de l'argumentation déployée dans l'article, alors même que cette image n'apportait rien au raisonnement en lui-même. Le fait que le même effet n'ait pas été observé dans le cas où seul un histogramme était présenté, montre, en outre, que ce biais n'est pas généralisable à tout type d'image : dans cette étude, c'est l'ajout d'une image de cerveau spécifiquement qui a rendu l'argument plus convaincant aux yeux des participants.

Il semble donc que des images de cerveau issues de l'imagerie cérébrale aient un effet trompeur sur l'évaluation du discours qui les accompagne, donnant au lecteur l'illusion d'être face à des arguments d'une plus grande validité scientifique. Ces résultats ont par ailleurs été répliqués par McCabe et Castel au sein de deux autres expériences permettant de mieux caractériser ce biais de raisonnement. La première a, en outre, permis de préciser que cet effet était seulement présent pour des images représentant explicitement un cerveau, et non pour des images correspondant aux mêmes informations projetées sur une carte topographique ne

ressemblant pas à un cerveau. La seconde a, quant à elle, permis de généraliser cet effet sur de véritables textes de vulgarisation produits par la BBC, qui venaient remplacer les textes fictifs créés dans le cadre de l'étude. Il semble donc que les données recueillies convergent vers l'idée d'un biais cognitif robuste, propre aux images de cerveau : celles-ci paraissent ainsi faire écho à une certaine neurophilie chez les lecteurs d'articles d'information scientifique, qui abandonnent une partie de leur sens critique face à la fascination qu'exercent sur eux les représentations de notre organe le plus mystérieux.

La presse dans le scanner

Les lecteurs des articles de vulgarisation sont-ils les seuls à avoir une opinion particulièrement favorable des travaux neuroscientifiques ? Une étude de Racine, Bar-Ilan et Illes (2005) a tenté de répondre à cette question en se penchant sur les biais pouvant être recensés au sein même des articles de vulgarisation, qu'ils soient publiés dans la presse généraliste ou scientifique. Les auteurs ont ainsi réalisé une analyse du contenu de 132 articles rapportant des résultats en imagerie cérébrale sur une période de plus de dix ans. Leur exploration leur a permis de mettre en avant le fait que la majorité des articles (67 %) ne faisait pas mention des limitations propres aux études en imagerie cérébrale. Par ailleurs, la plupart des articles (79 %) présentaient les résultats sous un éclairage particulièrement optimiste, ce qui est d'ailleurs souvent le cas dans les articles de vulgarisation scientifique, quel que soit le domaine. Leur analyse les a en outre conduits à identifier trois grandes tendances fallacieuses, spécifiques aux neurosciences et transparaissant dans les articles : le *neuroréalisme*, le *neuroessentialisme*, et la *neuropolitique*.

Le neuroréalisme caractérise la propension à faire paraitre certains phénomènes comme « réels » à partir du moment où une activation cérébrale leur est associée au sein d'une étude. Cela se traduit par exemple par des déclarations telles que « les scientifiques disent à présent que la sensation [de peur] est non seulement réelle, mais

qu'ils peuvent également montrer dans le cerveau ce qui la cause », ou encore « une forme d'imagerie cérébrale relativement nouvelle fournit la preuve que l'acupuncture soulage la douleur » (*New York Times*, 1999 ; *Pain & Cent. Nerv. Sys. Week*, 1999). Il s'agit, en somme, d'interpréter les images cérébrales comme des « preuves visuelles » attestant de l'activité mentale et validant une certaine vision du monde, allant souvent bien au-delà des conclusions tirées par les scientifiques à l'origine de l'étude.

Le neuroessentialisme, quant à lui, décrit la tendance à considérer que l'individu peut être réduit à son cerveau, autrement dit, que voir son cortex cérébral – surface du cerveau, formée de substance grise, qui recouvre les deux hémisphères cérébraux – revient à comprendre sa subjectivité, sa personnalité. Les phrases telles que « le cerveau ne peut pas mentir : les images cérébrales révèlent comment vous pensez, ce que vous ressentez et même comment vous pourriez vous comporter » sont ainsi nombreuses dans les articles de presse analysés (*Times-Picayune*, 2003). Racine et ses collaborateurs (2005) soulignent que si les travaux en imagerie cérébrale constituent une clé de voute de la recherche en sciences cognitives, présenter l'identité des individus comme équivalente à leur cerveau constitue un raccourci fallacieux et réductionniste dont il importe de se prémunir. À ce jour, étudier un cerveau par IRM fonctionnel ne permet absolument pas de tout savoir de la personnalité d'un individu, ni d'accéder à ses souvenirs, connaissances ou aptitudes.

Enfin, la troisième tendance relevée dans les articles de presse est qualifiée de neuropolitique par les auteurs. Elle décrit la tentative de présenter les résultats en imagerie cérébrale sous un certain angle pour venir appuyer une vision politique particulière, se traduisant généralement par la recherche d'activations cérébrales venant légitimer une certaine prise de position. Par exemple, lorsqu'en 1996 la Californie a dû se prononcer par référendum pour ou contre l'interdiction de l'éducation bilingue, un neuroscientifique rapporte avoir été contacté simultanément par les deux camps adverses, chacun souhaitant voir dans les travaux du chercheur des arguments appuyant sa position (Hall, 1998).

Le caractère parfois ambigu, singulier ou préliminaire de certains résultats neuroscientifiques fait qu'ils peuvent être interprétés de différentes manières par qui ne saurait – ou ne voudrait – pas transmettre la nuance avec laquelle ils ont été rapportés initialement. Par exemple, une étude rapportant pour la première fois une corrélation entre une activité mentale donnée, réalisée en laboratoire, et une activation de certaines zones cérébrales, nécessitera plusieurs réplications empiriques dans différents contextes avant de pouvoir être interprétée comme révélatrice d'un lien de causalité entre une aire du cerveau et une capacité cognitive. Elle risque de se retrouver présentée dans la presse comme « une preuve scientifique établie qu'il existe une zone du cerveau responsable de telle faculté ».

Il existe donc, au sein même des articles de presse, une propension à orienter le lecteur vers une certaine idée de ce que permet la recherche en neurosciences, poussant à voir dans les images de cerveau l'accès à une vérité objective, cruciale pour la compréhension de l'esprit humain. Cependant, Racine et ses collaborateurs soulignent qu'une partie du phénomène observé est due à la complexité des résultats issus de l'imagerie cérébrale, et des neurosciences cognitives en général. Il incombe donc à la communauté scientifique produisant ces résultats de tâcher de rendre aussi intelligibles que possible les subtilités et nuances propres aux techniques qu'elle emploie, afin de faciliter l'interprétation de ses travaux et de les rendre les moins perméables possible aux interprétations abusives.

QUELQUES EXEMPLES

La télépathie dans le viseur

En 2014, des chercheurs travaillant à Montréal ont souhaité évaluer si le fait d'avoir suivi une formation en neurosciences permettait de se

défaire du biais neurophile affectant le jugement critique de nombre d'individus. Sabrina Ali et ses collaborateurs ont ainsi recruté 26 étudiants inscrits à l'université dans des cours de neurosciences, de psychologie et/ou de sciences cognitives, ainsi que 32 étudiants dont le domaine d'étude n'était en rien lié aux neurosciences. Les étudiants des deux groupes avaient été informés qu'ils allaient participer à une étude portant sur « les corrélats neuronaux[2] de la pensée ». Cependant il s'agissait en réalité d'une ruse, les chercheurs s'intéressant avant tout à la crédulité des étudiants face à une fausse machine d'imagerie cérébrale. En effet, à leur arrivée, les participants se voyaient présenter un appareil désigné comme une nouvelle technologie expérimentale permettant de décoder l'activité mentale du cerveau au repos, afin de lire l'esprit humain. La machine, malicieusement baptisée « Spintronics », était en réalité constituée d'un vieux casque sèche-cheveu de salon de coiffure, vaguement grimé pour l'occasion en un appareil d'imagerie supposé être équipé d'une technologie innovante. Affublé de fausses électrodes, chaque participant s'installait dans la machine à l'allure approximativement futuriste après avoir reçu les instructions suivantes : « choisissez un nombre à 2 chiffres, un nombre à 3 chiffres, une couleur et un pays ». Pour permettre la vérification ultérieure des items choisis, les participants devaient les consigner sur une feuille de papier qu'ils cachaient ensuite dans leur poche. Une fois installés, il leur était demandé de penser à chacun des items de leur liste, un à un. Au bout de quelques minutes de « scan », un écran affichait, devant les participants ébahis, les items auxquels ils venaient de penser.

La recherche en imagerie aurait-elle progressé au point de permettre de lire directement dans les pensées des individus ? C'est en tout cas ce que les participants étaient amenés à croire au cours de cette expérience. Pourtant, une explication alternative permettait de rendre compte des performances extraordinaires du sèche-cheveu télépathe : les expérimentateurs, formés à certaines techniques de prestidigitation, s'arrangeaient au début de l'expérience pour accéder aux informations retranscrites sur la feuille de papier, dans la poche des participants. Ils faisaient ensuite eux-mêmes apparaitre à

l'écran les items de la liste, de sorte que les participants pensaient être en présence d'une machine pouvant lire leurs pensées. À la fin de l'expérience, un questionnaire évaluait le crédit que les participants accordaient à l'expérience ainsi qu'à l'appareil en lui-même (« Pensez-vous que le Spintronics pourrait extraire une image visuelle ou un concept abstrait de vos pensées ? »), et leur scepticisme vis-à-vis des résultats de l'expérience était également mesuré.

L'analyse du questionnaire a montré que trois quarts des participants jugeaient l'expérience crédible, malgré l'aspect fruste et rafistolé de l'appareil à lire les pensées. Les étudiants du groupe « neurosciences », quant à eux, ont montré un scepticisme plus important que les étudiants de l'autre groupe, mais deux tiers d'entre eux ont tout de même indiqué croire en l'expérience réalisée. Ainsi, même des individus formés aux limites de l'imagerie cérébrale tendent à suspendre leur jugement critique lorsqu'ils sont face à un dispositif dont on leur dit qu'il analyse l'activité cérébrale, qu'importe que celui-ci ressemble étrangement à un sèche-cheveu. Il est probable que la même expérience réalisée sans aucun appareil faisant référence au cerveau (par exemple, en la seule présence d'un individu qui dirait avoir lu dans les pensées des participants pour deviner les items de leur liste) soulèverait un doute bien plus important de la part des participants. Ils refuseraient surement de se laisser berner et chercheraient à déceler le « truc ». Ici, un dispositif d'imagerie douteux, d'aspect volontairement vétuste, a été suffisant pour faire oublier aux étudiants des mois d'enseignements sur les prouesses et les limites de l'imagerie cérébrale. Comment blâmer alors quiconque tombe sous le piège de résultats aguicheurs rapportés dans la presse spécialisée, au côté de la séduisante mention « neuroscience » ? Comme le déplore le chercheur en sciences cognitives Franck Ramus, il arrive même qu'on « déguise en neuroscience » des résultats issus de la psychologie expérimentale pour les rendre plus crédibles (2018). Ce type d'effet de manche nuit pourtant aux deux disciplines : d'une part, il occulte les travaux neuroscientifiques qui sont réellement pertinents pour l'éducation et,

d'autre part, il pousse les autres travaux en psychologie à se travestir à leur tour pour rester séduisants auprès du public.

Les saumons enfument l'IRMf

Une anecdote célèbre dans le milieu des neurosciences cognitives est celle de Craig Bennett et de sa visite chez un poissonnier. En 2010, ce chercheur en neurosciences a pris la décision incongrue d'acheter un saumon mort et de le placer à l'intérieur d'un appareil d'Imagerie par Résonance Magnétique fonctionnelle (IRMf), d'ordinaire utilisé afin de recueillir des images de cerveau humain en activité. Les appareils IRMf permettent de mesurer et de visualiser en continu la consommation d'oxygène par le cerveau, grâce à une mesure du signal magnétique des globules rouges chargés de transporter l'oxygène dans le sang. On attribue ainsi une augmentation de la consommation d'oxygène à une augmentation de l'activité mentale. Comme lors d'une banale expérience en IRMf, Bennett a présenté au participant (ici, donc, le saumon mort) une série d'images représentant des individus engagés dans différentes activités, tout en lui demandant d'imaginer l'émotion ressentie par les personnages apparaissant sur les images. Tout au long de l'expérience, la consommation d'oxygène par les organes du saumon était mesurée. Si l'on est en droit de douter de l'intérêt qu'il peut y avoir à demander à un saumon mort d'imaginer les émotions ressenties par des protagonistes humains, c'est au moment de l'analyse des résultats que la démarche a pris tout son sens. En effet, en sélectionnant une certaine technique d'analyse statistique des données recueillies, Bennett a obtenu une image du salmonidé sur laquelle une zone particulière, se trouvant précisément dans le cerveau de l'animal, apparaissait en surbrillance, signe que l'analyse statistique avait identifié une augmentation de la consommation d'oxygène dans cette zone. L'interprétation classique lorsqu'une analyse identifie ainsi qu'une zone cérébrale a dépassé le seuil statistique au-delà duquel on considère qu'une différence d'activité est « statistiquement significative » est qu'il y a dans cette zone un afflux sanguin,

témoignant d'une activité mentale particulière. Faut-il pour autant en conclure que le cerveau du saumon mort s'est activé lors de la tâche, le poisson ayant fourni un effort cognitif particulier pour interpréter les images qui lui étaient présentées ? Ce n'est évidemment pas le cas. Le « faux » résultat obtenu s'explique en réalité par l'existence d'un certain « bruit » venant parasiter les mesures en IRMf, et ayant ici été interprété comme signe d'une activité par l'analyse statistique.

Si cette anecdote a été – à tort – interprétée par le grand public comme une remise en cause de tous les résultats obtenus en IRMf, elle souligne en revanche l'impérative nécessité pour les chercheurs en neurosciences d'appliquer les corrections statistiques nécessaires pour éviter de « faux » résultats, qu'il n'est pas toujours aussi facile d'identifier que lorsqu'ils indiquent qu'un saumon mort cogite dans l'IRM. Dans toute mesure réalisée en imagerie cérébrale fonctionnelle, il existe un risque, inhérent aux techniques statistiques utilisées pour identifier les zones les plus activées à un instant donné, d'obtenir un résultat alors qu'il n'y en a pas ; une « fausse alerte » en somme. Ce problème est inhérent à l'usage de statistiques, et il se retrouve d'ailleurs dans d'autres disciplines, comme la médecine. D'ordinaire, les chercheurs tentent de répliquer leurs résultats dans plusieurs contextes différents afin de s'assurer de leur robustesse, et ils utilisent des méthodes de correction statistiques afin de limiter au maximum l'apparition de ces *faux positifs*. Mais ici, en appliquant une analyse « classique » sans discernement sur un saumon mort, le chercheur a rappelé que des résultats parfaitement aberrants pouvaient parfois apparaitre, et qu'il était donc essentiel d'opérer avec prudence avant de généraliser l'interprétation de certains résultats obtenus grâce à l'imagerie cérébrale. Cette étude a d'ailleurs été récipiendaire du prix « Ig Nobel », qui est une récompense attribuée à des travaux de recherche qui ont la particularité de faire rire par leur caractère original ou décalé, tout en poussant à une réflexion plus profonde sur leur discipline. En plaçant un poisson mort dans un IRM, Craig Bennett a volontairement poussé l'analyse en imagerie jusqu'à un paroxysme d'absurdité, pour mettre en garde contre les risques liés à une mauvaise utilisation de cette technique,

et préconiser un usage prudent de cet outil.

Que peut-on alors retenir de cette anecdote cocasse ? D'abord, que si l'apparition occasionnelle de faux positifs est inévitable, il convient, comme dans toute science expérimentale, de prendre le temps de répliquer les résultats, en réalisant plusieurs expériences, avant de communiquer à leur sujet. Ensuite, que l'interprétation des travaux doit toujours être faite avec prudence, sans quoi on imagine aisément quel type d'article au titre tapageur aurait pu ici être écrit : « Les poissons morts saisis par les émotions » ou encore « La réflexion des saumons se poursuit après leur mort », voire « Dans l'au-delà, les saumons pensent aux humains ». Enfin, que si les neurosciences cognitives ont beaucoup à apporter à notre compréhension de l'esprit humain, il est indispensable que chercheurs, journalistes et grand public exercent conjointement leur esprit critique, modèrent leur enthousiasme – aussi légitime qu'il soit – et avancent avec prudence dans l'interprétation des données extrêmement complexes qui sont issues de ce champ de recherche.

CONCLUSION

Une raison du malentendu qui règne sur le caractère plus ou moins probant des recherches en neurosciences tient probablement à une intuition erronée sur les processus de progrès scientifique. En effet, le sens commun laisse penser qu'une approche scientifique enchaine les certitudes, chacune découlant implacablement des précédentes, selon le principe d'un raisonnement déductif. En fait, à l'exception éventuelle des mathématiques, ce n'est pas ainsi que les sciences progressent. On évoquera à ce propos l'approche poppérienne de la réfutabilité. Karl Popper est un épistémologue anglais ayant vécu au XX^{e} siècle, qui a cherché à établir des critères pour caractériser une science. Il s'interrogeait sur ce qui pouvait départager, parmi les grandes théories de son époque, la théorie de la relativité d'Einstein, du marxisme ou de la psychanalyse. Il ne s'agissait ni de leur caractère explicatif, ni de leur caractère empirique, car ces trois théories étaient explicatives et s'appuyaient sur des faits. En revanche Popper a introduit le critère de réfutabilité : selon lui, une théorie n'est scientifique que si elle est réfutable, c'est-à-dire en mesure de proposer des prédictions qui, si elles sont contredites, demandent de réviser la théorie. À l'inverse les approches non scientifiques retombent sur leurs pieds et trouvent en leur sein des explications qui leur permettent de se maintenir sans évoluer. Ainsi, Marx avait prédit que la première révolution marxiste se produirait en Allemagne, alors qu'elle eut en fait lieu en Russie. Cette erreur de prédiction ne mena pourtant pas les partisans du marxisme à considérer la théorie comme réfutée car une interprétation marxiste de cette non-réalisation de la prédiction fut trouvée. En revanche, si la théorie de la relativité d'Einstein prédisait que telle planète devait se trouver à tel endroit, tel jour à telle heure, une non-réalisation de cette prédiction amenait à une révision de la théorie. C'est ce qui la rendait réfutable. En sciences expérimentales, les chercheurs tentent

en permanence de renforcer leurs théories à force d'observations qui vont dans le sens de leurs prédictions et non à les « prouver » au sens logique du terme. En revanche, des prédictions non réalisées peuvent les amener à revoir leurs théories, conformément au principe de réfutabilité.

On pourrait sans doute être aidé par l'idée d'un faisceau convergent d'indices, recueillis selon les démarches les plus rigoureuses possibles qui s'accumulent en faveur d'une théorie ou à l'inverse qui amènent à la réviser. De ce fait, une étude isolée est à prendre avec une certaine prudence. C'est pour cette raison que nous faisons largement appel, dans cet ouvrage, à des méta-analyses. Ce sont des travaux de synthèse portant sur un grand nombre d'études déjà publiées indépendamment sur le sujet et visant à identifier des tendances robustes. En outre, procéder à des observations est essentiel pour la compréhension des phénomènes, et les progrès technologiques sont parfois décisifs pour cela, donnant accès à une information jusque-là ignorée. C'est le cas pour la naissance même des neurosciences : c'est largement grâce aux progrès des techniques microscopiques que la théorie réticulaire du cerveau, en vogue au XIX^{e} siècle, selon laquelle le cerveau était constitué d'un gigantesque maillage, un peu comme les fils d'une toile d'araignée, a été supplantée par la théorie actuelle selon laquelle il est composé de cellules (neurones et cellules gliales).

Le fait que le public perçoive la démarche scientifique selon le sens commun, sans avoir nécessairement en tête la notion poppérienne de réfutabilité ou encore la distinction entre induction et déduction, ne constitue pas la seule raison du malentendu sur l'interprétation des résultats neuroscientifiques. En effet, les neurosciences ont la spécificité d'être nimbées d'un « attrait séduisant » qui a déjà été identifié par certains auteurs (Weisberg, Keil, Goodstein, Rawson & Gray, 2008) comme à l'origine de jugements particulièrement cléments envers les explications neuroscientifiques. La présence d'une forte demande sociale à laquelle les neuromythes sont supposés répondre vient encore accentuer ce phénomène. Ainsi les tentatives de rationalisation de l'éducation initiées aux États-Unis dès

les années 1960 auraient contribué à une demande sociale d'efficacité fondée sur des résultats scientifiques, qui conduirait les décideurs et les acteurs eux-mêmes à être moins vigilants et plus crédules dans leur interprétation de la littérature scientifique et de ses retombées éducatives (Hyatt, 2007). Dans ce contexte, on comprend que des arguments fondés sur la recherche et étayés par des données d'imagerie cérébrale soient attirants. La priorité est donc à la sensibilisation des non-professionnels de la recherche afin d'éviter à la fois un cautionnement irréfléchi de tout résultat fondé sur des travaux de neurosciences et, inversement, un relativisme qui assimilerait entre elles toutes les opinions sous prétexte qu'aucune preuve scientifique n'est ultime.

La culture développée dans une population apparait avoir une fonction essentielle pour aborder de manière adaptée les travaux de recherche. Ainsi, Schweitzer, Baker & Risko (2012) ont montré que l'effet attrayant des images de cerveau pouvait disparaitre dans certaines conditions. Ils attribuent ce phénomène à une potentielle banalisation des neurosciences par rapport à leur caractère bien plus novateur à l'époque des travaux de McCabe et Castel. Les neurosciences ayant progressé de manière fulgurante ces dernières décennies, elles occupent une place grandissante dans les médias, et le public est chaque jour plus au fait des techniques et du vocabulaire employés pour parler du cerveau humain. Il est probable que cette familiarisation progressive aux neurosciences s'accompagne d'une meilleure compréhension du pouvoir explicatif de l'imagerie cérébrale, et donc d'une réception plus critique et plus juste des articles aux titres tapageurs. C'est également dans cette perspective de contribuer à donner au lecteur les éléments d'une lecture critique et éclairée des travaux concernés que nous abordons les chapitres suivants.

2

TOUT SE JOUE
AVANT
1/2/3/4/5/6/7/8 ANS

LE MYTHE

Pensez à un âge entre 1 et 8 ans. Quel que soit cet âge, il suffit de frapper sur son moteur de recherche « tout se joue avant X ans », pour découvrir que toutes les options trouvent leur défenseur : pour certains tout se joue avant 1 an, avant 2 ans pour d'autres, ou encore 3 ans, 4 ans, 5 ans, 6 ans, 7 ans, 8 ans, etc. Certains ouvrages font leur titre de ce crédo, comme le succès de librairie que fut *Tout se joue avant 6 ans*. Un auteur (Vezina, 2015) a même tourné en dérision cette idée en intitulant son livre *Tout se joue avant 100 ans*.

Le mythe selon lequel tout se jouerait avant un âge donné véhicule un message déterministe car tout ce qui surviendrait au-delà de cet âge serait conditionné par cette période préalable. Il est aussi partiellement anxiogène – voire culpabilisant – pour les parents comme pour les enseignants, car il sous entend que ce qui n'aurait pas été développé en temps et en heure serait irrécupérable par la suite et aurait donc des conséquences délétères sur le long terme. Ce mythe fournit également une fenêtre temporelle durant laquelle un enfant peut supposément développer son potentiel et où toutes les énergies pourraient être déployées pour optimiser ce potentiel et lui donner les meilleures chances. Les enjeux éducatifs liés à ce mythe sont massifs, car si une telle affirmation était fondée, il serait également nécessaire d'octroyer des moyens particuliers durant ces premières années pour faire profiter chaque élève de cet effet de levier bénéfique. Le mythe soulève aussi une question : au service de quoi mettre ces moyens ? Les possibilités dépendent du champ éducatif aussi bien que développemental et de l'âge critique en question, car les mêmes actions éducatives ne seront pas concernées si « tout se joue » à 1 an, à 3 ans ou à 8 ans.

Mais d'où vient ce mythe ? Selon l'idée la plus répandue, chacun naitrait avec un stock neuronal qui diminuerait progressivement tout au long de sa vie, d'où la nécessité de configurer au mieux ce stock dès les premières années. Cette possibilité d'une configuration précoce est illustrée par la grande ouverture aux apprentissages des jeunes enfants, en particulier à travers l'apprentissage de leur langue natale. Ainsi ceci laisse penser que les structures et connexions cérébrales qui se mettent en place constitueront les cadres des évolutions futures d'un individu. On peut aussi voir dans cette idée un retour de balancier par rapport à une tradition historique considérant l'enfant comme un être aux développements lents, dépendant d'une maturation biologique cérébrale progressive et tardive, calquée plus ou moins sur celle du corps. Cette perspective conduisait par exemple Jean-Jacques Rousseau à préconiser que l'éducation intellectuelle ne puisse débuter réellement que vers l'âge de 12 ans, et qu'avant il ne soit pas opportun de solliciter la raison (« Traitez votre élève selon son âge. [...] À chaque instruction précoce qu'on veut faire entrer dans leur tête, on plante un vice au fond de leur tête »), et réservant les années précédentes à d'autres objectifs demandant une maturité moindre. C'est aussi le rejet d'une conception ancienne qui considérait le jeune bébé comme un être qui ne fait que dormir et se nourrir, menant une croissance corporelle qu'il ne pouvait plus poursuivre – faute de place – dans le ventre maternel.

Des capacités cognitives précoces

Le mythe est également conforté par des avancées de la recherche en psychologie expérimentale qui ont contredit certaines idées sur le développement tardif de l'enfant. Elles ont mis en évidence que ces derniers manifestent des habiletés cognitives qui apparaissent bien plus tôt qu'on ne le pensait auparavant. Pour ce qui est des capacités numériques, une littérature abondante a établi que de tout jeunes enfants peuvent discriminer de petites quantités. Par exemple, lorsqu'on habitue des bébés de 6 mois à observer une poupée sauter

2 fois, ils manifestent de la surprise lorsque cette poupée se met à sauter 3 fois, et ce même lorsque l'intervalle de temps pendant qu'elle saute reste constant (Wynn, 1996). Par le biais de méthodes similaires, d'autres travaux ont mis en évidence que de jeunes bébés montraient de la surprise lorsque le nombre de poupées attendu n'était pas au rendez-vous, semblant manifester de ce fait des capacités arithmétiques précoces (Wynn, 1998).

Sur le plan de la pensée probabiliste précoce, Denison et Xu (2014) ont demandé à des enfants de moins d'un an de choisir entre deux lots, chacun contenant dans des proportions différentes des objets désirés par l'enfant et des objets neutres pour lui. Ils ont montré que ces bébés choisissent le lot dans lequel les objets désirés se trouvent en plus grande proportion et seront donc obtenus plus fréquemment. Les auteurs concluent par l'affirmative que les enfants présentent une capacité précoce à réaliser des jugements probabilistes. Pour ce qui est de la logicité de la pensée, il a été montré par l'équipe de Lucas Bonatti (Cesana-Arlotti *et al.*, 2018) que des enfants de 12 et de 19 mois semblent réussir certaines inférences déductives, c'est-à-dire réussissent à dériver des conclusions conformes aux règles de la logique. En effet, lorsqu'on leur présente une série d'actions sur une vidéo sans que la fin ne leur soit montrée, on observe que ces enfants réussissent à anticiper ce qui aurait suivi, et cela même lorsque la seule manière d'anticiper est de déduire logiquement les conséquences des actions perçues.

Ainsi, même si des controverses importantes qui dépassent le cadre de cet ouvrage invitent à ne pas tirer de conclusions trop hâtives de ces résultats, ces travaux ont contribué à laisser penser que des capacités numériques, une pensée probabiliste et une logicité de pensée émergent de façon bien plus précoce que cela n'a été décrit par la théorie des stades du développement de Jean Piaget.

Les synapses et le développement cérébral

Au cours des dernières années, l'âge de 3 ans a connu un succès particulier, du fait de son association avec le phénomène d'explosion

synaptique qui apparait au cours des premières années de vie. Les synapses constituent des zones de contact entre neurones qui permettent la transmission des informations à d'autres neurones. L'explosion synaptique que l'on observe dans les trois premières années de vie de l'enfant est considérée comme une preuve du rôle crucial de cette période de vie pour l'ensemble des apprentissages. Et cela d'autant plus qu'elle est associée à l'intensification entre la 2e et la 3e année du phénomène d'élagage synaptique. Ce phénomène constitue un processus par lequel les synapses superflues sont éliminées, assurant un fonctionnement optimal du cerveau : les synapses existantes pouvant être soit renforcées, soit affaiblies. Une métaphore assez proche de la conception d'élagage synaptique est celle de l'élimination des mauvaises herbes du jardin. Ainsi, l'idée d'une configuration construite dès un âge clé – ici 3 ans – qui ne ferait que s'affiner par la suite est défendue par cette idée d'élagage synaptique.

QU'EN DIT LA RECHERCHE ?

Un lent processus de maturation

Le développement cérébral se poursuit sur de longues années jusqu'à l'âge adulte, de manière différenciée : toutes les régions du cerveau n'atteignent pas leur maturité en même temps. Une manière de le montrer est d'observer l'évolution de la densité de matière grise dans le cerveau, que les techniques d'imagerie cérébrale permettent de mesurer. La matière grise contient les corps des neurones. Ceux-ci se prolongent par des dendrites, qui reçoivent les informations d'autres neurones et où les connexions synaptiques se font, permettant ainsi aux neurones de communiquer entre eux. À ce titre, la densité de matière grise est un indicateur de la complexité des processus neuronaux en jeu. Gogtay et ses collaborateurs (2004) se

sont intéressés à l'évolution de cette densité de matière grise au cours du développement. Leur étude présente l'intérêt de s'inscrire dans une perspective longitudinale : elle se concentre sur une cohorte de 13 participants suivis depuis l'âge de 4 ans et jusqu'à leur 21 ans, ayant fait l'objet tous les 2 ans d'une cartographie cérébrale sous forme d'image IRM.

Les chercheurs ont pu élaborer pour chaque participant une séquence animée de leur développement cortical. Une technique particulière d'analyse d'image, qui fait ressortir les configurations de la morphologie cérébrale, a permis de localiser précisément, pour chacun, les changements corticaux au fil des ans, pour ensuite étendre ces observations à l'ensemble des participants. Il est apparu que la densité de matière grise augmente durant la jeune enfance pour décroitre à partir de la puberté. Néanmoins cette diminution de densité n'est pas uniforme sur l'ensemble du cortex. Au contraire, la maturation du cortex suit des temporalités différentes selon les régions cérébrales. Cette maturation différenciée est en phase avec une perspective phylogénétique : les régions cérébrales apparues les plus tardivement dans l'évolution des espèces sont également celles dont la maturation est la plus tardive sur le plan individuel. Cette maturation progressive suit les étapes clés du développement cognitif : les régions associées aux fonctions les moins spécifiques à l'espèce humaine, associées à des traitements de bas niveau, telles que les zones sensorimotrices, liées à la perception et au mouvement, montrent la maturation la plus précoce. Celle-ci s'étend ensuite à des régions impliquées dans l'orientation spatiale et dans le langage. Ce n'est que plus tardivement que les régions préfrontales du cerveau, dites de haut niveau, atteignent leur maturité. Celles-ci constituent notamment le siège des fonctions exécutives et assurent la coordination et la planification des tâches et de l'attention.

Le processus sous-jacent à cette maturation corticale, qui conduit à une décroissance de la densité de matière grise, n'est pas connu précisément. L'hypothèse des auteurs est que ce phénomène est lié à l'augmentation de la matière blanche. La matière blanche contient essentiellement des axones – les prolongements neuronaux par

lesquels les informations produites au niveau du corps du neurone circulent, avant d'arriver au niveau de la synapse. L'augmentation de la matière blanche, lors des quatre premières décennies de vie, est principalement due à la conductivité des axones. Ce processus, appelé myélinisation, se déroule en même temps que celui d'élagage synaptique. Gogtay et ses collaborateurs suggèrent qu'en réalité ces deux processus sont liés et concourent l'un et l'autre à ce phénomène de décroissance de la densité de matière grise au-delà d'un certain âge. Ce phénomène dépend également de la zone du cerveau concernée. Comme leurs résultats l'indiquent, l'élagage synaptique n'est en effet pas non plus uniforme pour l'ensemble du cortex, et se poursuit au minimum jusqu'à l'âge de 21 ans. Ces résultats montrent ainsi que si tout se jouait à un âge, cela serait bien plus tardif que la conception envisagée par le mythe.

Les mécanismes neuronaux de la maturation cérébrale

Cette élimination progressive des synapses qui ont perdu leur utilité n'empêche pas que, même à l'âge adulte, l'apprentissage puisse avoir un impact sur la structure cérébrale. Même si l'idée que le cerveau soit transformé par nos expériences n'est pas nouvelle, Zatorre, Fields et Johansen-Berg (2012) ont publié sur cette question une synthèse de travaux. Celle-ci porte sur la plasticité – un mécanisme cérébral par lequel les réseaux de neurones se créent et se réorganisent – des matières grise et blanche du cerveau suite à des situations d'apprentissage. Les auteurs s'appuient pour cela sur l'analyse des modifications des structures cérébrales, observées par des techniques d'imagerie.

Il est connu que le fonctionnement du cerveau est conditionné par son organisation anatomique. Cette dernière est elle-même modulée par les connexions entre les neurones et les processus cellulaires sur lesquels elles reposent. Cette organisation anatomique a un impact sur le traitement des informations et sur les processus d'apprentissage. Lorsque nous observons des changements fonctionnels et anatomiques par les techniques d'imagerie, nous nous

rendons compte des changements cérébraux, mais pas des modifications cellulaires qui sous-tendent les effets observés. Afin de mieux comprendre comment les changements anatomiques surviennent lors des apprentissages, la synthèse réalisée par Zatorre et ses collaborateurs (2012) porte sur les modifications consécutives à l'expertise dans un domaine spécifique, comme celles induites dans le cortex auditif chez des musiciens, ou encore dans le cortex moteur lié à des entrainements spécifiques, comme le jonglage. Leur étude cherche à identifier les mécanismes microstructurels (changements au niveau cellulaire tels que l'élimination de synapses ou la myélinisation des axones) susceptibles d'être à l'origine de ces transformations de la matière grise, à travers l'évolution de sa densité, et de la matière blanche, à travers l'évolution de sa conductivité.

Les auteurs montrent que la formation de nouvelles synapses (appelée *synaptogenèse*) est vraisemblablement à l'origine de variations à l'intérieur de certaines structures du cerveau suite aux apprentissages, sans pour autant en être l'unique source. La neurogénèse, c'est-à-dire la formation de nouveaux neurones, est également candidate, et peut être observée dans l'hippocampe, une zone du cerveau particulièrement connue pour son implication dans les processus de mémorisation, et donc dans les acquisitions de connaissances. Pourtant, les recherches qui prétendent montrer l'existence d'une neurogénèse en dehors de cette région sont controversées. L'explication des changements anatomiques du cerveau suite aux apprentissages ne peut donc pas résider complètement dans cette neurogénèse.

De manière complémentaire, les cellules gliales sont présentes dans le cerveau en plus des neurones, et assurent le bon fonctionnement de ces derniers – notamment en accélérant la vitesse de transmission des informations d'un neurone à l'autre. Elles peuvent ainsi moduler les performances lors des apprentissages. À la différence des neurones, les cellules gliales ont la capacité de se diviser, et leur genèse est reconnue lors de situations d'apprentissage. Certaines d'entre elles sont impliquées dans l'établissement des connexions entre deux neurones – donc dans la formation des synapses, tandis

que d'autres assurent aussi des fonctions différentes, comme la régulation du flux sanguin. Elles sont observables de ce fait par certaines mesures d'imagerie cérébrale, notamment lorsque l'on observe la manière dont un signal est propagé, en faisant appel à l'IRM de diffusion. Cette technique permet de suivre la trajectoire des molécules au sein des cellules, et ainsi de voir en détail certaines spécificités de l'architecture cellulaire.

En outre, les transformations ne se limitent pas à la matière grise : même si les changements au sein de la matière blanche ont été moins étudiés, il y a des modifications qui surviennent lors des apprentissages. En effet, comme la matière blanche sert à optimiser la vitesse et l'intégration des informations transmises, notamment via la myélinisation – la formation de myéline, substance qui entoure les axones des neurones par lesquels une information est transmise d'un neurone à l'autre –, ses évolutions peuvent être observées suite aux apprentissages. Ces différents changements cellulaires ont un impact sur les signaux mesurés par les IRMf, et les différentes techniques d'analyse ont des sensibilités distinctes à l'ensemble de ces modalités. En effet, les variations neuronales, gliales et synaptiques vont être repérables lorsque la technique utilisée calcule la proportion de la matière cellulaire par rapport à l'espace extracellulaire. C'est le cas lorsque l'on mesure les changements de densité de la matière grise. En revanche, les changements survenus dans la matière blanche auront un impact sur d'autres types de mesure qui cherchent à étudier la diffusion des signaux, ce qui permet de voir par exemple à quelle vitesse une information se transmet d'un neurone à un autre.

Zatorre et ses collaborateurs (2012) ont montré que la plasticité cérébrale va bien au-delà de la synaptogenèse. Compte tenu de l'ensemble des processus cellulaires complexes, il n'est pas possible de prendre comme seul indicateur le nombre de synapses pour dire que les processus cognitifs sont tous présents dès 3 ans. De nombreux processus moléculaires sont en jeu et les auteurs soulignent que les changements cellulaires qui permettent des changements structuraux du cerveau restent à déterminer. Cela

indique que le nombre de synapses dans le cerveau ne devrait pas être pris comme un facteur déterminant du fonctionnement cérébral ou de son potentiel.

QUELQUES EXEMPLES

Être chauffeur de taxi à Londres modifie le cerveau...

Certaines études avaient déjà mis en évidence que des apprentissages sur des tâches de coordination visuomotrice, comme l'entrainement au jonglage durant trois mois, mènent à des changements anatomiques dans le cerveau (Draganski *et al.*, 2004). La recherche sur les modifications morphologiques du cerveau suite aux apprentissages ne s'est toutefois pas arrêtée aux apprentissages moteurs. Elle s'est aussi intéressée à des capacités plus complexes comme le déplacement dans des environnements urbains. Dans une étude célèbre, Maguire et ses collaborateurs (2000, 2006) se sont intéressés aux chauffeurs de taxi londoniens qui sont soumis à des entrainements intensifs, pouvant durer jusqu'à deux ans, afin d'être habilités à conduire dans les rues londoniennes. L'entrainement à ces habiletés de déplacement rend leur cas très intéressant pour étudier des modifications morphologiques cérébrales. Des études par imagerie cérébrale ont montré qu'effectivement les régions de l'hippocampe responsables des représentations spatiales avaient un volume plus important chez les chauffeurs de taxi que dans une population contrôle. Ces différences sont restées présentes lorsque les chercheurs ont comparé les images cérébrales des chauffeurs de taxi à celles de conducteurs de bus londoniens, qui avaient acquis des expériences de conduite similaires, mais sur des trajets moins variés.

... tout comme le font les apprentissages académiques

Draganski et ses collaborateurs (2006) sont allés encore plus loin et ont cherché à étudier si des apprentissages, cette fois conceptuels, mènent à des modifications morphologiques des structures corticales. Leur étude a porté sur des étudiants en médecine qui passent à la fin de leur formation un examen complexe portant sur six thématiques différentes. Pour le réussir, une importante quantité de connaissances doit être acquise.

Lors de cette recherche, 38 étudiants en médecine d'âge moyen de 24 ans ont été soumis deux fois à un scanner IRM : la première fois, trois mois avant la passation de leur examen, afin de réaliser les mesures de référence, et une deuxième fois dans les deux jours qui suivaient l'examen lui-même. L'objectif était de voir si les apprentissages modifient la morphologie cérébrale. Par la suite, parmi ces étudiants, deux tiers d'entre eux sont passés une troisième fois par le scanner, et cela trois mois après l'examen. Il s'agissait d'observer si les transformations consécutives aux apprentissages avaient un impact durable. La note moyenne à l'épreuve obtenue par les participants à cette étude correspondait à la moyenne de l'ensemble de la population, ce qui conduit à considérer que l'échantillon était représentatif de la population concernée. Toutefois, si les évolutions de la structure cérébrale avaient été seules observées dans cette population, les changements auraient pu être attribuables à un simple processus de maturation cérébrale survenant au cours de ce période. Afin d'écarter cette possibilité, 12 participants contrôles, étudiants en kinésithérapie, ont été soumis à deux reprises à un scanner afin de s'assurer que l'organisation cérébrale des étudiants en médecine ne différait pas de la population générale, et ensuite pour vérifier que les évolutions dans la population étudiante étaient dues aux apprentissages et pas à une simple maturation, car la maturation corticale suit des temporalités hétérogènes. Le groupe contrôle n'a quant à lui passé aucune épreuve durant les six derniers mois. Les deux populations étaient appariées en termes d'âge et de sexe afin d'assurer une meilleure comparaison.

La méthode utilisée permettait de détecter des changements subtils dans la matière grise et spécifiques à différentes régions du cerveau.

Lors de la première passation au scanner, la mesure initiale témoignait d'une absence de différence dans la composition de la matière grise entre les deux populations. Les chercheurs ont ensuite cherché à déceler une augmentation de densité dans la matière grise chez les étudiants en médecine entre les différents moments du test. Ils ont ensuite comparé les évolutions chez les étudiants en médecine à celles de l'autre groupe d'étudiants aux deux moments du test. Les résultats ont montré la présence de changements structurels dans la matière grise induite par l'apprentissage chez les étudiants en médecine, qui n'étaient pas observés dans le reste de la population. Cette différence était notamment visible entre le moment initial et juste après l'examen. Une augmentation significative de matière grise dans deux régions du cortex pariétal est apparue uniquement pour les étudiants en médecine. L'implication de ces régions dans la mémoire déclarative (la mémoire des faits et des évènements) est connue, notamment pour leur rôle dans le passage de l'information en mémoire à long terme. Trois mois après l'examen, ces régions montraient encore une densité de matière grise supérieure à celle de la population contrôle, même si elle était un peu moins prononcée qu'à l'issue de l'examen de médecine. En outre, une augmentation significative de matière grise dans l'hippocampe a été observée entre la deuxième et la troisième passation au scanner. Cette influence prolongée de l'acquisition des connaissances, au-delà de la période d'apprentissage, indique l'impact durable que les apprentissages ont sur la morphologie du cerveau, y compris à l'âge adulte.

CONCLUSION

Comme les travaux présentés le montrent, l'idée d'un âge où tout serait joué n'a à ce jour aucun soutien empirique. En effet, le cerveau se transforme massivement de la naissance jusqu'à l'âge adulte et cette transformation se poursuit avec des apprentissages ponctuels, comme ceux impliqués dans la préparation d'examens. En outre, le mythe exprime la croyance que le cerveau constitue un tout, dont on pourrait qualifier globalement le développement. Pourtant le développement n'est pas uniforme : les zones cérébrales se transforment à des rythmes variés et atteignent donc leur maturation à des périodes variées de la vie d'une personne. Cela exclut qu'il existe un âge critique où tout serait joué.

Le mythe est donc une vision caricaturale qui exprime de manière grossière et approximative le fait, qui lui est fondé, que la plasticité cérébrale n'est pas absolue. En effet, le rejet du mythe n'a pas lieu de laisser place à celui de la « pâte à modeler cérébrale » selon lequel tout serait possible à tout moment, même si la tendance actuelle est plutôt à mettre en évidence une certaine plasticité là où on pensait avoir montré la rigidité d'un système. Ainsi, la capacité de discrimination des phonèmes, c'est-à-dire de distinguer les unités élémentaires qui composent les mots dans un langage parlé, est une capacité développée dans le cortex auditif qui joue un rôle important dans l'acquisition du langage. Or une fenêtre critique semble se fermer assez précocement dans ce domaine. En effet, de nombreuses recherches attestent d'un déclin de discrimination des phonèmes qui ne sont pas dans le répertoire de la langue maternelle de l'enfant au-delà de 10 à 12 mois (Werker & Hensch, 2015 ; *cf.* également l'ouvrage de Roussel et Gaonac'h paru dans cette collection en 2017). Également, si une privation visuelle, qui peut résulter de cataractes denses dans les cristallins des deux yeux, n'est pas traitée avant l'âge de 5 à 8 mois, elle empêche le développement d'une acuité visuelle

normale chez un enfant car les neurones impliqués dans ce type de traitement d'informations visuelles n'ont pas été mobilisés durant les premiers mois de vie (Lewis & Maurer, 2005). Des travaux sur les traumas cérébraux confirment également qu'en dépit des constats de plasticité cérébrale à l'âge adulte, certaines périodes paraissent critiques. Notamment, les conséquences d'une absence d'intervention adéquate pour minimiser les effets du trauma peuvent être d'autant plus importantes que l'âge auquel le trauma est survenu est précoce. En effet, même si l'âge n'est pas le seul facteur qui entre en jeu (il faut considérer la gravité du trauma, sa nature, ainsi que des facteurs sociétaux comme le statut socioéconomique, ou la rééducation mise en place), certains traumas survenus précocement peuvent avoir de moins bons pronostics sur le développement de l'individu que s'il étaient survenus plus tardivement, car le processus de maturation cérébrale et le développement habituel de différentes habilités cognitives peuvent se trouver perturbés (Anderson, Spencer-Smith, & Wood, 2011).

La remise en cause du mythe « tout se joue à » revêt des conséquences importantes sur le plan éducatif. Tout d'abord le rôle de l'école est réhabilité. Le rejet du mythe évite de souscrire à un discours mêlant urgence et fatalisme selon lequel, étant donné que la période préscolaire serait critique, le milieu paraitrait prépondérant. Cela permet d'éviter de croire que les années de maternelle sont les principales qui vaillent. Au contraire, il n'y a pas lieu de penser que des retards scolaires soient irrémédiables sur le plan des capacités cérébrales, même si pour certains phénomènes localisés, comme l'acquisition d'un bon accent dans une langue étrangère, cette affirmation puisse être nuancée. Ainsi, le rejet du mythe, dans la mesure où rien n'est jamais vraiment joué pour les élèves, porte l'idée forte d'une école formatrice des esprits. Sauf cas marginaux, ce n'est pas le cerveau qui interdit le progrès.

Un autre plan sur lequel le rejet du mythe conduit à revoir certaines idées est celui de la croyance dans le caractère profondément bénéfique des environnements d'apprentissage enrichis pour un développement précoce de l'enfant. Comme si multiplier les

sollicitations et les contextes d'apprentissage dès le plus jeune âge assurait un câblage cérébral permettant à l'enfant d'assimiler ensuite la complexité du monde qui l'entoure. Cette idée du bénéfice particulier des environnements enrichis dès un très jeune âge n'a pas reçu de soutien dans les recherches en neurosciences. Il est en revanche favorable à une certaine industrie commerciale qui tire profit de faire penser aux parents qu'ils peuvent (sur-) stimuler le développement de leurs enfants.

Les questions abordées dans ce chapitre concernent, dans le cadre des travaux en neurosciences, une problématique que l'éducation a abordée sous différents angles et dont l'actualité reste entière, qui est celle des relations entre apprentissage et développement. L'apprentissage et le développement décrivent-ils avec des termes différents un même phénomène ? L'apprentissage est-il une condition du développement ? Le développement est-il une condition de l'apprentissage ? Les résultats des travaux des neurosciences ne tranchent pas entre ces options, mais renforcent l'intérêt d'une perspective « Life Span », dite aussi « vie entière », sur le développement d'un individu. Dans cette optique, l'enfance est une phase comme une autre de la vie, riche en développements, et c'est également vrai des âges ultérieurs !

3

À CHACUN SON STYLE D'APPRENTISSAGE

LE MYTHE

À chaque théorie son style de style d'apprentissage

On peut parler de styles d'apprentissage dès lors qu'une différence entre des groupes d'individus permet de développer des méthodes d'apprentissage distinctes, bénéficiant chacune au groupe correspondant. Par exemple, dans sa version la plus populaire, la théorie des styles d'apprentissage prédit que certains élèves sont « visuels », d'autres « auditifs » et d'autres encore « kinesthésiques », ce qui signifie qu'ils apprennent mieux lorsque les leçons leur sont présentées, respectivement, sous forme graphique, auditive ou tactile. L'idée de styles d'apprentissage parait opportune pour expliquer les différences entre élèves et pour développer des progressions d'apprentissage adaptées à chacun. Elle semble constituer un équilibre entre une globalisation *fourre-tout* et un *sur-mesure* irréaliste en situation de classe, tout en fournissant une certaine intelligibilité des processus d'apprentissage. Mais de quels styles d'apprentissage est-il question ? La palette est large puisque Coffield (2004) en a répertorié 71 déclinaisons. Visuel, auditif ou kinesthésique ? Cerveau droit ou cerveau gauche ? Analytique ou synthétique ? Rationnel ou émotionnel ? Cérébral ou intuitif ? Ces interrogations aux allures de tests pour magazines de plage ont-elles une profondeur qui va au-delà du divertissement estival ? Des corrélats neuronaux sont-ils établis ? Ces distinctions conduisent-elles à des pédagogies à l'efficacité éprouvée ?

Trois facteurs principaux concourent à la popularité des styles d'apprentissage, tant auprès du grand public que des communautés de parents et d'enseignants, ainsi que de certains chercheurs. Le premier a trait au désir partagé par les parents comme par les enseignants que les méthodes d'instruction prennent en compte les spécificités de chaque élève, afin que les talents qui resteraient

latents dans un contexte uniformisant soient révélés. Cet élan généreux, qui repose sur la conviction du potentiel d'apprentissage de chaque individu dès lors que ses spécificités sont prises en compte, a en outre la caractéristique de largement déresponsabiliser les acteurs les plus immédiatement concernés. Ni l'enseignant ni les parents n'auraient à se sentir responsables d'un processus qui leur échappe ; leur enfant ou élève ne serait pas plus à blâmer car l'échec relèverait notamment d'un enseignement inadapté à son *style*. C'est du côté de l'institution scolaire ou de la recherche sur les dispositifs éducatifs que se situeraient les responsabilités.

Plus prosaïque et moins humaniste, la deuxième cause de popularité est la conséquence directe des enjeux financiers liés à cette question. En effet, qui dit styles d'apprentissage dit intérêt de les déceler pour les exploiter, et de nombreuses entreprises commercialisent soit des tests destinés à permettre aux enseignants ou aux formateurs d'identifier les styles individuels, soit des méthodes d'apprentissage fondées sur ces styles. Elles promeuvent avec ardeur la notion et participent à un lobbying actif qui contribue au succès de cette idée, particulièrement aux États-Unis et au Canada.

La troisième origine, qui conditionne sans doute l'influence des deux premières et sans laquelle l'idée des styles d'apprentissage n'aurait pas cet attrait quasi irrésistible, s'appuie sur le phénomène de catégorisation. Elle découle de l'idée qu'il existe des types d'individus, elle-même greffée sur la croyance en l'existence d'un découpage préétabli du monde en catégories distinctes et exclusives les unes des autres. En effet, la grande majorité des théories des styles d'apprentissage classent les individus selon différents types. On reconnait là une déclinaison dans le champ de l'éducation des théories de la personnalité, comme la célèbre théorie jungienne des types psychologiques, qui croise une orientation introvertie ou extravertie avec des fonctions dominantes de personnalité (sensation, pensée, sentiment, intuition), pour obtenir différents types d'individus. Cette troisième origine mérite que l'on s'y attarde, car elle permet de mieux qualifier le mythe et d'en saisir les dérives.

Nos catégories donnent sens à ce qui nous entoure. Seules

alternatives à un chaos mental, elles conditionnent l'abstraction et la capitalisation de l'expérience. Préalables à toute pensée, elles sont nécessaires pour lier une perception nouvelle et une expérience antérieure. L'écrivain José Luis Borges met en scène la nécessité des catégories pour la vie mentale en introduisant le personnage d'Irénée Funes qui aurait perdu ses catégories à la suite d'une chute de cheval. Suite à cela, « il lui était difficile de comprendre que le symbole générique chien embrassât tant d'individus dissemblables et de formes diverses [...]. Son propre visage dans la glace, ses propres mains, le surprenaient chaque fois [...] il n'était pas très capable de penser. Penser c'est oublier des différences, c'est généraliser, abstraire. Dans le monde surchargé de Funes il n'y avait que des détails, presque immédiats ».

Pourtant, si le caractère omniprésent et nécessaire de la catégorisation est éprouvé, la légitimation des styles d'apprentissage repose sur des présupposés qui vont au-delà du processus de catégorisation et prêtent plus à controverse. En effet, les théories des types, qu'il s'agisse de styles d'apprentissage ou de types psychologiques, épousent une tradition philosophique qui remonte à l'Antiquité et voudrait qu'il existe un découpage objectif de l'environnement, extrinsèque à l'humain. Cette conception est exprimée par Platon dans *Phèdre* par la nécessité, pour bien comprendre le monde, de « fendre l'essence unique [...] en suivant les articulations naturelles ». Cette expression d'« *articulations naturelles* » exprime à la fois l'existence du découpage et sa naturalité. La plupart des défenseurs des théories des styles d'apprentissage s'inscrivent dans cette lignée et adoptent l'expression de « style d'apprentissage naturel », signe de l'innéité de ces styles. On saisit l'enjeu d'une légitimation par les neurosciences de leur existence ; cela gagerait que, conformément à la conception platonicienne, cette catégorisation est objective, car attestée par des indices biologiques.

QU'EN DIT LA RECHERCHE ?

Des catégories pas si catégoriques

La théorie des styles d'apprentissage doit donc partiellement son succès aux enjeux commerciaux qui lui sont associés et à l'idée humaniste qu'elle sous-tend. Elle semble toutefois reposer avant tout sur l'intuition ancrée que le monde est plus intelligible lorsqu'on sait le découper opportunément en catégories. Or, contrairement à l'intuition tenace sur les catégories qui fonde la théorie jungienne des types psychologiques, les appartenances catégorielles ne sont pas en *tout ou rien*, mais s'inscrivent en général sur un continuum, c'est-à-dire avec des degrés plus ou moins élevés d'appartenance à une catégorie. Par exemple, si la prise en compte de la taille d'une personne peut conduire à la catégoriser comme grande ou petite, il subsiste encore une hiérarchie de tailles à l'intérieur des grands comme des petits, et l'on rechigne à classer parmi les uns ou les autres les nombreux individus de « taille moyenne ». Les travaux de la psychologue Eleanor Rosch ont montré depuis les années 1970 que l'existence de différents degrés d'appartenance à une catégorie est la règle plutôt que l'exception, si bien que les catégories comportent des membres plus ou moins typiques (Rosch, 1975). Transposé à la théorie des styles d'apprentissage, le fait que les appartenances catégorielles ne soient pas en tout ou rien signifie que tous les degrés d'affiliation existent. Cela mine potentiellement une approche différenciée par catégories d'individus dans la mesure où chacun se situerait le long d'un continuum, et non pas au sein d'un groupe clairement délimité. Or une part importante des théories des styles d'apprentissage classe les personnes en groupes distincts, plutôt que de leur attribuer des scores selon différentes dimensions, comme le soulignent Kirschner et van Merrienboer (2013).

Un autre phénomène qui caractérise la catégorisation est l'hétérogénéité intracatégorielle, qui qualifie la variabilité à l'intérieur d'une même catégorie. Ainsi, les oiseaux forment une catégorie, mais

dans de nombreux contextes, on aura toute raison de distinguer l'autruche du moineau et le pingouin du corbeau. Or l'hétérogénéité intracatégorielle est largement ignorée dans les travaux sur les styles d'apprentissage, qui défendent que la catégorie d'appartenance est la seule information pertinente à prendre en compte. Geake (2008) rapporte que certains établissements scolaires vont même jusqu'à faire porter des T-shirt « V » (pour Visuel), « A » (pour Auditif) ou « K » (pour Kinesthésique) à leurs élèves, comme si cette simple initiale résumait la spécificité de chacun. Qui plus est, une catégorie n'exclut pas un possible recouvrement avec les catégories voisines. Par exemple, il existe des objets sur lesquels on s'assoit et qu'une moitié de la population nommerait chaise et l'autre moitié fauteuil. Ce pourrait être le cas d'un meuble sans assise moelleuse mais avec des accoudoirs confortables ou à l'inverse d'un siège sans accoudoirs mais doté d'un coussin parfaitement rembourré (Murphy, 2002). Conformément à ce phénomène, les travaux en neurosciences de l'équipe de Jack Gallant (Huth, Nishimoto, Vu & Gallant, 2012) ont apporté des éléments indiquant l'existence d'une carte cérébrale continue des catégories. Ce phénomène corrobore l'existence d'un continuum d'appartenance à telle ou telle catégorie, à l'inverse de l'idée selon laquelle chaque concept correspondrait à l'activation cérébrale d'une zone spécifique clairement délimitée.

Données neuroscientifiques ou métaphore cérébrale ?

En revanche, les neurosciences sont largement démunies pour apporter quelque argument en faveur de l'existence de tel ou tel style d'apprentissage. Une justification directe d'une théorie des styles d'apprentissage demanderait de corroborer l'existence de tel ou tel profil d'apprenant par des observations de corrélats neuronaux. Aucune recherche n'a affiché cet objectif à notre connaissance. En effet, on arrive rapidement à des aberrations biologiques lorsque l'on tente d'énoncer des prédictions dans ce domaine. Par exemple, nous mobilisons tous à chaque instant de notre vie mentale à la fois l'hémisphère droit et l'hémisphère gauche de notre cerveau. Être

« cerveau droit » ou « cerveau gauche », souvent associé à être plutôt créatif ou plutôt logique, est une métaphore qui n'a pas plus de fondement anatomique que l'expression « ne pas avoir les yeux en face des trous ». Aucun chercheur en neurosciences n'a cherché à démontrer que certains individus utilisent quasi exclusivement un seul hémisphère de leur cerveau, ce qui n'aurait guère plus de sens sur le plan cérébral que d'être plutôt ventricule droit ou ventricule gauche sur le plan cardiaque. En effet, pour n'importe quelle activité, on utilise simultanément les deux hémisphères cérébraux, qui sont reliés par un faisceau de connexions neuronales que l'on appelle le corps calleux. Qui plus est, pour une tâche donnée, les individus utilisent tous les mêmes zones cérébrales : nous activons irrémédiablement des aires visuelles lorsque nous regardons et des aires auditives lorsque nous écoutons, et ce quel que soit notre style d'apprentissage supposé ! En résumé, c'est sur une conception naïve de la catégorisation, en décalage avec les travaux contemporains, que sont fondées les théories des styles d'apprentissage. Cela conduit à des propositions caricaturalement clivantes en termes de méthodes d'apprentissage là où graduation d'appartenance, hétérogénéité intracatégorielle et recouvrements intercatégoriels appellent à des raffinements qui sont fondamentalement contraires à ces approches par types, lesquelles valorisent les contrastes entre les individus.

À chacun sa préférence d'étude

Il reste que les théories des styles d'apprentissage pourraient être sauvées par les preuves de leur efficacité, car elles ont justement l'avantage de pouvoir être soumises à un examen empirique direct permettant d'évaluer l'efficacité des pratiques éducatives qu'elles préconisent. En effet, sans se préoccuper de la validité conceptuelle de la théorie elle-même ou des indicateurs neuronaux qui pourraient militer en sa faveur, il est toujours possible d'évaluer son efficacité. Une méta-analyse menée par Harold Pashler et ses collaborateurs (2008) s'est intéressée aux conditions à satisfaire afin de pouvoir

affirmer que l'application d'une théorie des styles d'apprentissage à l'école a un effet bénéfique sur l'acquisition de connaissances. Les auteurs de l'étude ont identifié deux facettes qui caractérisent toute théorie des styles d'apprentissage : l'existence de *préférences d'étude* d'une part, et l'hypothèse de la *supériorité d'un apprentissage spécifique* d'autre part.

Les *préférences d'étude*, terme consacré dans la littérature sur les styles d'apprentissage, désignent l'idée que les élèves puissent exprimer des préférences sur la manière dont les nouvelles informations à acquérir leur sont présentées. Plus particulièrement, il s'agit d'indiquer le format de présentation des informations qui leur correspond le mieux (par exemple : visuel, auditif ou kinesthésique dans la forme la plus répandue de la théorie). Ainsi, un élève devra indiquer s'il apprend mieux lorsqu'il entend une personne parler de quelque chose, s'il pense plus avec des mots ou avec des images qu'il visualise mentalement, s'il qualifierait plutôt sa pensée d'objective ou d'intuitive. L'existence de ces préférences d'étude n'est pas mise en question, dans le sens où des travaux ont montré que les élèves parviennent à exprimer des préférences stables et cohérentes pour une modalité sensorielle particulière (Henson & Hwang, 2002 ; Veres, Sims, & Shake, 1987). Toutefois, notons que les théories des styles d'apprentissage se focalisent sur les *préférences* des élèves et non sur leurs *performances*. Autrement dit, le diagnostic de style ne repose pas sur l'observation de stratégies mises en œuvre par les élèves en classe mais sur des appréciations subjectives de celles-ci. Peu de données existent quant aux liens entre les préférences exprimées dans les tests et les stratégies effectives, mais les rares recherches existantes indiquent que ces éventuels liens sont au mieux ténus (Massa & Mayer, 2006). En outre, l'existence de préférences n'est pas en elle-même probante, car le fait d'exprimer une affinité particulière avec, disons, la modalité visuelle, ne permet aucunement de déduire qu'un apprentissage guidé par cette préférence serait plus efficace qu'un autre.

Quelle supériorité pour les apprentissages spécifiques ?

Pour attester de la validité d'une théorie des styles d'apprentissage, il est nécessaire d'aborder leur seconde facette, l'hypothèse de la *supériorité d'un apprentissage spécifique*, soit l'idée qu'avoir recours à une méthode d'apprentissage propre au style de chaque élève permettrait d'atteindre de meilleures performances. Dans la plupart des déclinaisons de ces théories, il est considéré que la rétention d'informations est optimale lorsque la modalité d'apprentissage utilisée correspond à la modalité préférée de l'élève. Ainsi, l'aspect principal sur lequel nombre de travaux se sont focalisés, est qu'un élève de style par exemple « visuel » atteindra les meilleures performances en suivant un enseignement « visuel » (où l'on privilégie les supports visuels, images et représentations graphiques des notions à acquérir), alors qu'un élève de style « auditif » atteindra les meilleures performances en suivant un enseignement « auditif » (où l'enseignement s'effectue grâce à la parole exprimée à l'oral, aux sons ou à la musique). Afin de tester la validité d'une telle hypothèse, Pashler et ses collaborateurs (2008) ont mis en avant quatre critères qui, lorsqu'ils sont satisfaits, permettent de conclure à l'efficacité de pratiques éducatives fondées sur une théorie des styles d'apprentissage. Tout d'abord, il est nécessaire de constituer les groupes expérimentaux en fonction des préférences d'étude exprimées (par exemple, un groupe d'élèves visuels et un groupe d'élèves auditifs). Deuxièmement, il convient d'assigner aléatoirement chaque élève à une méthode d'apprentissage spécifique (par exemple, un groupe suivra une méthode avec présentation visuelle du matériel de cours alors qu'un autre suivra une méthode avec présentation auditive). Ensuite, la qualité de l'apprentissage doit être évaluée au moyen d'un test identique pour chaque élève, afin de pouvoir déterminer sans ambigüité l'efficacité différentielle des méthodes. Enfin, les résultats doivent montrer que la méthode d'apprentissage ayant mené aux meilleures performances lors du test final est différente selon le groupe. Dans l'exemple que nous avons développé, cela signifie que si les élèves visuels obtiennent le meilleur score en suivant un apprentissage visuel, alors les élèves auditifs doivent eux atteindre leur performance maximale sur l'autre format d'enseignement proposé, à savoir la méthode auditive. C'est

seulement lorsque ces quatre conditions sont satisfaites que l'on peut considérer qu'une étude apporte une confirmation empirique de la validité de la théorie des styles d'apprentissage.

La très abondante littérature scientifique portant sur les styles d'apprentissage (le principal moteur de recherche d'articles scientifiques référence plus de 600 000 entrées correspondant au mot clef « learning style[3] »), ainsi que l'importance des enjeux éducatifs et financiers soulevés par cette question laissent penser que si la théorie des styles d'apprentissage était valide, alors de nombreuses études devraient remplir les quatre conditions susmentionnées. Pourtant, dans leur revue de la littérature sur le sujet, Pashler et ses collaborateurs ont trouvé une seule étude satisfaisant ces quatre critères. Pis, Pashler rapporte que l'étude comportait des lacunes sur le plan méthodologique, ce qui compromettait sa validité et fragilisait l'interprétation des résultats obtenus. À l'inverse, plusieurs études sans faiblesses méthodologiques identifiées font état d'observations allant à l'encontre de la théorie des styles d'apprentissage. Ainsi, certaines rapportent que des groupes ayant suivi des méthodes adaptées à leurs préférences d'apprentissage n'apprennent pas mieux que des groupes ayant suivi des méthodes non adaptées à leurs préférences. Par exemple, des élèves dits « visuels » atteignent des performances similaires, qu'ils reçoivent un enseignement sous une forme picturale ou verbale (Massa & Mayer, 2006 ; Cook, Thompson, Thomas & Thomas, 2009). D'autres font état de méthodes d'apprentissage fondées sur un style particulier donnant lieu à de meilleurs scores indépendamment du « style » des élèves (Constantinidou & Baker, 2002). Ainsi, bien que les études menées ne constituent pas une preuve définitive de l'inefficacité des méthodes fondées sur les styles d'apprentissage, la quasi-absence de travaux mettant en avant le moindre effet positif, en dépit des nombreuses tentatives réalisées pour les justifier, suggère que la théorie des styles d'apprentissage n'a pas sa place sur les bancs de l'école. Autrement dit, il n'existe actuellement pas de justification empirique crédible qui soutienne l'usage en classe de méthodes fondées sur les styles d'apprentissage,

aussi populaires soient-elles.

QUELQUES EXEMPLES

Les neurosciences au secours de la convergence des styles

S'il semble à présent avéré qu'aucune étude empirique ne conduit à conclure qu'une prise en compte des styles d'apprentissages puisse être bénéfique aux élèves, la question soulevée ensuite est celle du caractère contreproductif voire néfaste que peut revêtir la popularité de cette théorie. Il semble en effet qu'elle défende des principes allant eux-mêmes à l'encontre de pratiques préconisées par la recherche en neurosciences. En effet, focaliser l'apprentissage sur une seule modalité sensorielle va à l'encontre des résultats d'un ensemble de travaux sur l'anatomie du cerveau humain, et sur le fonctionnement de la mémoire en particulier. Une étude en imagerie sur les activations neuronales sous-jacentes à l'intégration d'informations provenant de différentes modalités sensorielles, menée par Calvert, Campbell et Brammer (2000), constitue un éclairage intéressant. Les auteurs ont présenté des stimulus auditifs (des phrases enregistrées), visuels (des vidéos présentant des lèvres bouger lors de la prononciation inaudible de phrases), ou combinés (des vidéos de lèvres en mouvement accompagnées de phrases enregistrées). Leurs résultats ont montré que certaines régions du cerveau s'activaient uniquement lorsqu'une phrase était présentée simultanément sous le format auditif et visuel, rendant compte d'un mécanisme d'intégration des informations provenant de différentes sources sensorielles. Ainsi, lorsqu'une phrase était simultanément vue et entendue, des traitements plus profonds étaient effectués, qui n'apparaissaient pas en cas d'écoute puis de vision de la même phrase en décalé.

De manière générale, les activités humaines impliquent le recours à

plusieurs modalités sensorielles, et donc l'intégration d'informations provenant de plusieurs sources. Une amélioration du traitement et de la rétention d'informations est avérée lorsque ces informations sont présentées de manière redondante entre plusieurs modalités, qu'il s'agisse de sources sensorielles différentes ou simplement de modes de présentation distincts, comme l'ont fait Gellevij *et al.* (2002) dans une recherche comparant deux méthodes visant l'apprentissage d'un logiciel informatique complexe. Un premier groupe de jeunes adultes se voyait présenter un manuel uniquement textuel, tandis qu'un second disposait d'un manuel multimodal, comportant du texte et des images. Les informations présentes dans les images étaient redondantes avec celles présentes dans le texte, de sorte qu'aucun des deux groupes ne bénéficie d'un avantage en matière de contenu. Le recours à un manuel présentant des informations multimodales (texte + images) s'est avéré plus bénéfique que le recours à un manuel unimodal, contenant uniquement du texte (*cf.* aussi Mayer, 2005). Ce résultat vient appuyer une littérature scientifique abondante concluant à l'intérêt de la présentation multimodale d'informations pour les acquisitions de connaissances. Les méthodes adaptées aux styles visuel, auditif et kinesthésique sont d'ailleurs devenues entre les mains de certains enseignants un excellent matériel pédagogique multimodal pour l'ensemble de la classe, comme le précise Geake (2008) ; plutôt que d'utiliser les supports visuels, auditifs ou tactiles de manière isolée, certains enseignants ont fait eux-mêmes l'expérience d'un apprentissage plus efficace et d'un engagement plus fort de la part des élèves lorsque ceux-ci pouvaient utiliser tour à tour les supports attachés aux différentes modalités, indépendamment du style d'apprentissage qui avait pu leur être assigné initialement.

CONCLUSION

Pour le poète cubain José Marti, « Tout ce qui divise les hommes, tout ce qui les spécifie, les isole ou les parque, est un péché contre l'humanité. » Force est de constater que l'histoire n'a guère laissé de bons souvenirs lorsque des frontières ont été tracées entre les êtres humains. Ce serait faire un mauvais et injuste procès aux théories des styles d'apprentissage que de les affilier à de telles mouvances, mais il reste que la revendication de taxinomies d'individus n'est pas neutre.

Partant de l'observation peu contestable des multiples différences qui existent entre les élèves dans leur manière d'appréhender certaines situations scolaires, ainsi que des nombreux cas où une explication sera éclairante pour certains élèves mais ne fonctionnera pas pour d'autres, et *vice versa*, les théories des styles d'apprentissage apparaissent comme une louable tentative pour prendre en compte l'hétérogénéité des individus, mais qui manque sa cible. En effet, le fossé est grand entre une diversité de fonctionnements individuels et la possibilité d'une identification de types d'individus dont les apprentissages des uns et des autres puissent bénéficier. Sous couvert de prendre appui sur les différences interindividuelles et d'en faire des atouts pour chacun, les théories des styles d'apprentissage souffrent de faiblesses qui les conduisent à l'opposé des objectifs qu'elles affichent.

En effet, elles rencontrent un double écueil, qui les mène vers un entre-deux à la fécondité improbable. Tout d'abord, bien qu'elles revendiquent d'ouvrir la possibilité d'apprentissages personnalisés pour les élèves, elles nient à l'inverse les spécificités individuelles liées aux expériences propres des uns et des autres, en assimilant grossièrement l'élève à un item d'une typologie, elle-même sujette à caution. Le second écueil est de minorer les caractéristiques communes aux individus en développant des méthodes qui

exagèrent les spécificités au détriment de processus qui pourraient être fédérateurs tels les apprentissages multimodaux. Notamment, la posture la plus fréquemment prônée dans le champ des théories des styles d'apprentissage est de maintenir les élèves confinés à l'intérieur de leurs styles supposés et de favoriser le style repéré chez l'élève pour améliorer ses acquisitions immédiates, plutôt que de favoriser chez lui le développement de styles complémentaires en vue d'accroitre *in fine* sa polyvalence – un peu comme l' « œil paresseux » de certains enfants dont le développement est conditionné par le masquage de l'œil dominant. Par ailleurs, la question subsiste de savoir s'il existe suffisamment de dissociation entre la matière à enseigner et les possibilités de l'enseigner, compte tenu à la fois des caractéristiques de cette matière et des processus d'apprentissage. Nous marchons sur nos pieds, regardons avec nos yeux, entendons avec nos oreilles, sentons avec notre nez. Existe-t-il une pédagogie de l'écoute musicale qui tirerait partie d'un style d'apprentissage exclusivement visuel ? Une pédagogie uniquement auditive de la géométrie ? Les mêmes questions se déclinent pour tout style d'apprentissage envisagé et tout contenu d'enseignement.

Deux voies de progression dans les dispositifs éducatifs sont court-circuitées par les théories des styles d'apprentissage. La première relève de l'approfondissement des recherches sur les processus d'apprentissage les plus partagés dans une population, pour lesquelles la psychologie des apprentissages scolaires, pouvant notamment prendre appui sur les neurosciences, conserve une marge colossale de progrès. Supposer que les différences individuelles dictent l'usage de méthodes calées sur des styles plutôt que sur les contenus à enseigner est un crédo qui est loin d'aller de soi et qui, pour l'instant, n'a guère reçu de soutien empirique. Il ne s'agit pas d'affirmer que certaines méthodes sont plus efficaces dans tous les contextes et pour tous les élèves. Au contraire, cette démarche généraliste est amenée à s'affiner selon les domaines et les contenus d'apprentissage.

La seconde relève de la prise en compte des différences entre les élèves. La pédagogie différenciée s'avère être une approche féconde

en sciences de l'éducation, de même que la psychologie différentielle fournit des méthodes et des concepts étayés par une communauté scientifique à l'épistémologie éprouvée. Une approche plus fine, qui conjugue les processus transversaux et la manière dont ces derniers sont particularisés pour chaque élève en fonction de ses expériences préalables, offre potentiellement l'intérêt de bénéficier de connaissances générales sur les processus d'apprentissage tout en prenant en compte les parcours individuels. De nombreux travaux montrent en effet que les contextes d'apprentissage les plus favorables sont avant tout influencés par les connaissances antérieures de l'élève (McNamara, Kintsch, Songer, & Kintsch, 1996), typiquement gommées par les théories des styles d'apprentissage. Dans cette orientation, les travaux centrés sur le diagnostic cognitif et pédagogique des productions des élèves offrent des pistes pour repérer les processus sous-jacents aux erreurs commises et les possibilités de remédiation. Ces recherches sont mises à profit par exemple dans le champ des tutoriels d'apprentissage, avec un certain nombre de résultats favorables (Desmarais & Baker, 2012).

4

IL EXISTE
8 FORMES
ET DEMIE
D'INTELLIGENCE

LE MYTHE

De manière quasi irrépressible, certaines idées suscitent l'adhésion tandis que d'autres le rejet. Qui ne préfèrerait pas être ouvert que fermé, tolérant que sectaire, vif qu'apathique, respectueux que dédaigneux, spontané que calculateur, généreux que pingre, franc que fourbe ? Parfois, certains termes incluent leur connotation dans leur signification si bien que l'adhésion porte en fin de compte sur la connotation elle-même, comme dans la phrase « *Il faut savoir être souple mais sans mollesse et ferme mais sans dureté.* » De même, les formulations « *le militant a été assassiné* » et « *le terroriste a été neutralisé* » suscitent des adhésions très différentes même si elles décrivent un même fait. Les « éléments de langage » en politique qui conduisent à évoquer parfois des *plans sociaux d'envergure* plutôt que des *licenciements massifs* ou des *contributions obligatoires* plutôt que des *impôts* s'appuient sur ce phénomène.

L'idée de *préserver la biodiversité* semble par exemple irrésistible. Qui pourrait en effet souhaiter que l'être humain ne contribue pas à maintenir la diversité du vivant ? Cependant, si l'on s'accorde que l'on parle ici d'une intervention humaine dirigée vers des formes de vie non humaines, on pourrait introduire un néologisme et imaginer que ce phénomène soit dénommé « *exoingérence* », car l'humain s'ingère dans la vie d'espèces autres que la sienne. Gageons que l'*exoingérence* ne susciterait pas le même consensus que la préservation de la biodiversité. On s'interrogerait sur la légitimité à se mêler du devenir d'autres espèces. On se demanderait si l'humain ne se confond pas avec Dieu et n'est pas en train de se mettre à jouer à l'apprenti sorcier ? Un simple changement terminologique peut rendre ainsi polémique une notion apparemment aussi consensuelle que la biodiversité.

Et l'intelligence ? Rejeter le concept d'intelligence multiple – sur lequel nous reviendrons de manière approfondie dans les

paragraphes qui suivent – n'est-ce pas en même temps épouser celui d'intelligence unique ? Difficile de ne pas se raidir à cette dernière idée. La créativité humaine a de nombreuses facettes ; et l'ingéniosité de l'esprit humain s'exprime sur de nombreuses dimensions. L'intelligence humaine est ainsi au cœur de magnifiques accomplissements dans une grande diversité d'activités, aux subtilités infinies. Comment cautionner alors qu'elle soit projetable sur une échelle unidimensionnelle au sein de laquelle une hiérarchie stricte s'opèrerait entre les individus ? Vu comme cela, la prise en compte mécanique d'un quotient intellectuel (QI) semble être une insulte à la diversité, à la subtilité, bref, à l'intelligence elle-même. On ne s'étonnera guère que lorsque Howard Gardner, professeur à la Harvard Graduate School, publia en 1983 un ouvrage ayant pour titre *Les formes de l'intelligence* où il exposait sa théorie des intelligences multiples, l'expression se répandit comme une trainée de poudre, anticipant une autre qualification douze ans plus tard, celle, par Daniel Goleman, d'intelligence émotionnelle, qui connut aussi un succès fulgurant, laissant voir l'humain cette fois non pas comme un froid calculateur mais comme un être... humain.

Les lignes précédentes ne militent ni en faveur ni en défaveur de la théorie des intelligences multiples. Elles montrent en revanche une origine du mythe bien éloignée des neurosciences et indiquent que les raisons premières qui poussent à y souscrire ne sont pas étayées scientifiquement, mais relèvent d'une psychologie du sens commun, voire d'une forme de pensée ancrée dans l'air du temps : lorsque l'on se veut un tant soit peu humaniste, valoriser la diversité parait tout de même plus ouvert que se faire le chantre d'un monolithisme.

QU'EN DIT LA RECHERCHE ?

Pour se demander si les intelligences sont ou non multiples, il convient de préciser ce que l'on entend par cette notion. Or elle est

tout sauf consensuelle et une première source de dissension provient tout simplement de l'acception donnée au terme. Des conférences d'experts qui se sont tenues au siècle dernier ont échoué à trouver une caractérisation partagée de ce qu'est l'intelligence. En 1921, les aspects paraissant comme centraux, tout en étant débattus, étaient ceux de pensée abstraite, d'aptitude à apprendre, d'aptitude à s'adapter à l'environnement. Lors de la grande conférence suivante sur le sujet, un peu plus de soixante ans plus tard et approximativement au moment de la sortie du fameux ouvrage d'Howard Gardner, la convergence entre experts n'est pas plus grande mais l'acquis vient disputer la vedette à l'inné.

Lors de cette tentative, de nouvelles caractéristiques se greffent au concept d'intelligence, telles que la place des connaissances, le rôle du contexte ou celui de la culture (Gobet, 2011). Ainsi, au-delà de la question de sa mesure, la notion d'intelligence est elle-même sujette à un profond débat. Ne s'y jouent pas moins que la place de l'espèce humaine dans le règne animal et la place de chaque humain parmi ses congénères. Et sur ce dernier plan, une tension vive existe entre deux pôles. D'une part, on peut repérer une vision de l'intelligence légitimatrice de l'ordre social, conduisant peu ou prou à confondre critère d'intelligence et critère de réussite sociale. D'autre part, à l'inverse, il existe également une tendance à la voir comme un contrepoids à cette même hiérarchie sociale, mettant cette fois en exergue des qualités qui, quoique pouvant donner lieu à des accomplissements exceptionnels, ne sont parfois que marginalement valorisées professionnellement et économiquement ; on pense notamment aux productions littéraires, philosophiques, poétiques, et intellectuelles en général. Parmi les prodiges illustrant cette dernière conception, on compterait par exemple Baudelaire le poète maudit, le mathématicien Srinivasa Ramanujan, ou Albert Einstein tant qu'il travaillait encore comme simple clerc au bureau des brevets de Berne.

Avec Gardner, les intelligences se multiplient

Avec cet état du débat en toile de fond, Howard Gardner (1983) publie son ouvrage dont le retentissement sera majeur, et qui sera suivi par une série d'autres productions autour de la même idée fondatrice. Parmi les motivations principales de Gardner figurent des questions d'éducation et des questions de mesure de l'intelligence. On peut rapidement résumer la thèse de Gardner en disant qu'il trouve l'école trop « scolaire » et trop peu valorisante pour les élèves qui ne s'inscrivent pas dans son moule, et que, par effet de miroir, les mesures de l'intelligence telles que proposées par les tests de QI sont elles aussi excessivement restrictives. Selon lui, elles se cantonnent à évaluer une forme de l'intelligence qui correspond grosso modo à celle du bon élève, mais qui est bien loin de capturer la complexité et surtout la diversité des talents qui font qu'un individu peut se développer dans diverses directions et atteindre des réussites exceptionnelles dans des champs auxquels l'école ne forme pas, en s'appuyant sur des habiletés largement ignorées par le système scolaire. Ainsi, dans son ouvrage, Howard Gardner est amené à identifier précisément les formes d'intelligence qui caractérisent l'espèce humaine, supposément – dans la première version de sa théorie – au nombre de 7. Il s'agit des intelligences linguistique (celle des littéraires), logico-mathématique (celle des scientifiques), spatiale (celle des architectes), intrapersonnelle (celle des psychologues), interpersonnelle (celle des communicants), musicale (celle des musiciens) et kinesthésique (celle des danseurs). Il considère que l'école valorise principalement les deux premières au détriment de toutes les autres et, en conséquence, au détriment des élèves qui auraient des dispositions plus grandes dans d'autres formes d'intelligence. Quelques années plus tard, il étend sa théorie à une huitième intelligence, l'intelligence naturaliste (celle des botanistes), et à une intelligence existentielle, ou spirituelle, quoique qualifiée par lui-même de « demi-intelligence » non pas pour en minimiser l'importance mais parce qu'elle satisfaisait seulement partiellement aux critères établis par Gardner pour caractériser une intelligence. D'où ce total de 8 intelligences et demie et le titre de ce chapitre.

Dès son premier ouvrage, Gardner tente de définir de manière

précise à la fois son acception de l'intelligence, en l'occurrence la faculté « de résoudre des problèmes ou de créer des produits dont l'importance est conséquente dans une ou plusieurs cultures », et les critères déterminant si une faculté est qualifiable d'intelligence. Il s'agit d'être associé à une structure neuronale spécifique, de compter des prodiges ou à l'inverse des déficients sur ce plan, de donner place à une interprétation évolutionniste, d'obéir à des processus psychologiques qui peuvent être identifiés dans une perspective de traitement de l'information, d'être exprimable par des symboles (tels que l'alphabet), de suivre une trajectoire développementale, de pouvoir être mis en évidence expérimentalement, d'être mesurable par des tests psychométriques. Une caractéristique majeure pour Gardner, qui fera l'objet d'investigations en particulier en neurosciences, réside dans le fait que ces intelligences sont relativement indépendantes les unes des autres. Il serait notamment possible que chez un individu donné, l'une d'entre elles soit extrêmement développée ou déficiente, tandis que toutes les autres seraient ordinaires. Selon Gardner, sa théorie conduit à concevoir une école aux objets d'enseignement élargis, allant au-delà de la focalisation sur des habiletés essentiellement linguistiques et logico-mathématiques qui sont traditionnellement les principales enseignées et valorisées. Elle conduit également à élaborer des tests d'intelligence eux aussi diversifiés, allant au-delà des aptitudes mesurées par les tests classiques de QI, elles aussi de nature essentiellement linguistique et logico-mathématique. En revanche, Gardner s'est toujours opposé à ce qu'il a considéré comme un dévoiement de sa théorie, en l'occurrence les tentatives éducatives visant à accommoder sa théorie à la sauce des styles d'apprentissage (*cf.* chapitre précédent), donc à enseigner différemment aux élèves selon leurs intelligences supposément les plus développées.

Une littérature scientifique étoffée a tenté de rendre compte des observations de Spearman (1904) selon lesquelles un élève performant dans une matière a tendance à l'être aussi dans les autres. Des tests mesurant une variété de capacités cognitives ont été élaborés, constitués d'épreuves variées, telles que des tâches de

mémorisation, de calcul mental, d'identification de suites de figures, de définition de termes. Ces tests cherchent à mesurer l'étendue d'habiletés cognitives telles que la mémoire, le raisonnement verbal, les compétences visuospatiales, les compétences logiques. Une panoplie de techniques statistiques aboutit à la conclusion systématique que les mesures sont positivement corrélées entre elles, autrement dit qu'un score supérieur à la moyenne sur un test de vocabulaire accroit, par exemple, la probabilité que le score à un test de rotation mentale soit aussi supérieur à la moyenne. Ces corrélations positives militent en faveur de l'existence d'un facteur *g* (*g* pour général) qui reflèterait les corrélations entre des habiletés apparemment très diverses. Ce facteur *g* est assimilable au QI, lorsque ce dernier est considéré comme une quantification numérique unique pour mesurer l'intelligence.

Des processus qui se chevauchent

Kovacs et Conway (2016) ont proposé une théorie dite de chevauchement des processus pour expliquer l'existence de ce facteur *g* issu des corrélations positives observées entre différents tests. Cette théorie, qui s'appuie sur des données issues de recherches psychométriques, de psychologie cognitive et de neurosciences, considère le facteur *g* comme une émergence des tests statistiques portant sur des éléments positivement corrélés, sans qu'il constitue pour autant une entité ayant un statut psychologique propre. Cette position, également défendue par d'autres chercheurs en neurosciences (e.g. Ramus, 2012), fait de *g* une abstraction qui trouve sa justification dans le fait que les habiletés mentales varient d'un individu à l'autre tout en étant généralement positivement corrélées. Pour reprendre l'exemple précédent, un individu qui réussit mieux que la majorité à un test de vocabulaire a de fortes chances de mieux réussir aussi que la majorité à un test de rotation mentale. Cela ne signifie pas pour autant que l'individu réussit aux tests de vocabulaire et de rotation mentale grâce à son intelligence générale. Toutefois, si l'on considère qu'il ne s'agit pas d'une capacité

cognitive générale, comment interpréter ce facteur *g* qui traduit les multiples corrélations positives observées ?

En fait, *g* est ce que l'on nomme une « variable inférée », à partir des résultats observés sur un ensemble d'épreuves. Cela signifie que l'on est en présence d'un phénomène qui émerge des scores obtenus sur les tests plutôt que de la cause des corrélations observées entre les facteurs étudiés. Sur ce plan, *g* est de même nature que d'autres variables inférées, comme le statut socioéconomique ou le niveau général de santé, qui résument le mieux possible les corrélations observées, mais sans pour autant se prêter à une interprétation psychologique particulière.

La théorie de chevauchement des processus propose que toute tâche implique dans sa réalisation à la fois des habiletés propres au domaine concerné et des processus cognitifs généraux. On peut parler de chevauchement dans la mesure où chaque tâche mobilise plusieurs capacités cognitives et que les mêmes capacités cognitives sont susceptibles d'être mobilisées dans différentes tâches, quoique à des degrés variables. Les capacités mobilisées relèvent à la fois de processus spécifiques à la tâche tels que la compréhension verbale pour une tâche de vocabulaire ou le jugement sur la base des indices perceptifs pour une tâche de complétion d'images, ainsi que de capacités plus transversales comme la planification, l'attention ou la rétention d'informations.

Y a-t-il une localisation de l'intelligence dans le cerveau ?

Cette disparité des capacités impliquées conduit la théorie de chevauchement à prédire que diverses régions du cerveau devraient s'activer lors de la réalisation d'une épreuve d'un test d'intelligence, par contraste avec une localisation spécifique associée à chaque type d'item et variant d'un type d'item à un autre. Si les recherches en imagerie cérébrale sur cette question conduisaient à identifier une zone particulière systématiquement activée lorsqu'un individu s'engage dans un certain type de tâches de mesure d'intelligence, la théorie de chevauchement des processus s'en trouverait affaiblie et

celle des intelligences multiples confortée.

Des études ont déjà montré une corrélation positive entre le volume du cerveau et l'intelligence, de même qu'avec la quantité globale de substance grise et celle de substance blanche (Gignac, Vernon & Wickett, 2003). Elles se fondaient toutefois souvent sur des mesures moins complètes que l'échelle d'intelligence de Wechsler, la batterie de tests de mesure de QI qui constitue la principale référence actuelle. Colom, Jung et Haier (2006) ont à leur tour mené une étude d'imagerie par résonnance magnétique visant à caractériser la distribution de la matière grise dans le cerveau en fonction des performances sur l'échelle d'intelligence de Wechsler. Ils ont recruté 48 adultes qui ont passé 8 épreuves sur lesquelles les chercheurs ont effectué des analyses statistiques (analyses factorielles), afin de déterminer dans quelle mesure leurs scores sont prédits par le facteur *g*. Suite au passage des participants par le scanner, des algorithmes ont permis d'isoler la matière grise de la matière blanche sur l'image structurelle du cerveau. Ils ont ensuite évalué si la densité de matière grise était plus élevée dans certaines zones du cerveau pour les individus dont le facteur *g* était le plus élevé, localisant ainsi les régions supposées de l'intelligence.

La corrélation établie précédemment entre le facteur *g* et la quantité de matière grise dans le cerveau a d'abord été répliquée. Le volume de matière grise s'est avéré tout particulièrement corrélé avec les performances aux deux épreuves elles-mêmes les plus corrélées avec *g* – l'épreuve de vocabulaire et le test des cubes, ce dernier mesurant les habiletés visuospatiales et motrices. Puis, afin d'identifier si la présence de matière grise dans certaines régions du cerveau était plus corrélée que dans d'autres avec *g*, la corrélation a été calculée entre le volume de matière grise de différentes régions du cerveau et les performances à ces deux épreuves les plus prédictives de g. L'étude a montré que plus les scores à ces deux épreuves étaient élevés, plus le volume de matière grise était important dans plusieurs régions du cerveau, et pas seulement dans les régions frontales, généralement associées aux traitements de haut niveau. En effet, les régions qui se sont révélées activées sont associées à une grande

diversité de fonctions cognitives, telles que le langage, la mémoire et l'attention. En conséquence, les résultats soutiennent l'idée qu'une pluralité de processus cognitifs est impliquée dans les tâches de mesure de l'intelligence, ce qui concorde avec la prédiction de la théorie de chevauchement des processus. Cela est cohérent avec les recherches qui montrent que lorsque l'on observe les activations neuronales spécifiques à chaque « unité cognitive » qui décrirait chacune des intelligences multiples (par exemple, pour « l'intelligence musicale », la perception musicale, la production musicale, l'émotion dans un contexte musical), des régions particulières associées sont identifiées (Shearer & Karanian, 2017). Cela reflète la multiplicité des processus impliqués. Cependant, même s'il n'y a pas de localisation particulière de l'intelligence dans le cerveau, et même si une variété de capacités est mobilisée chaque fois que l'on s'engage dans des tâches d'intelligence et que l'on réussit à localiser des habilités cognitives spécifiques aux supposées intelligences multiples, cela implique-t-il pour autant qu'il existe plusieurs types d'intelligences ?

Un premier écueil rencontré par cette proposition réside dans le fait que, contrairement aux batteries de tests qui portent sur les habiletés cognitives dans la perspective de mesurer une intelligence générale, aucune épreuve standardisée n'existe pour évaluer les intelligences multiples et ce, malgré l'affirmation de principe de Gardner sur leur possibilité d'existence. Si Gardner propose 8 types (et demi) d'intelligences, il est en effet peu précis sur la manière effective de les mesurer au-delà des principes énoncés pour identifier une intelligence. En outre, dans la description de la plupart d'entre elles, on repère des habiletés déjà mesurées par une variété de tests. Certains travaux ont toutefois cherché explicitement à mettre en relation les intelligences multiples proposées par Gardner et des habiletés cognitives générales.

QUELQUES EXEMPLES

À la recherche d'une mesure pour les intelligences multiples

Visser, Ashton et Vernon (2006) ont cherché à rendre mesurables les propositions de Gardner et ont, dans un premier temps, opéré une distinction selon l'étendue des habiletés cognitives mobilisées. Ils se sont intéressés aux corrélations entre différentes mesures proposées pour évaluer chacune de ces intelligences multiples, et ont calculé leur contribution à la mesure du facteur *g*. À cette fin, 200 participants ont été recrutés et soumis à un test d'intelligence générale. Ces mêmes participants ont également passé deux épreuves par type d'intelligence de la théorie de Gardner. Les résultats ont montré de nombreuses corrélations positives, comme c'est le cas pour les épreuves classiques d'étude du facteur *g*. En particulier, lorsqu'on prenait en compte les cinq épreuves supposées évaluer les habiletés qualifiées par les auteurs de « purement cognitives » parmi les intelligences multiples (correspondant aux intelligences linguistique, spatiale, logico-mathématique, naturaliste et interpersonnelle selon la classification de Gardner), les trois quarts (34 parmi les 45 qui peuvent être calculées) des corrélations entre ces épreuves se sont avérées significativement positives. Par ailleurs, le facteur *g* était maximal lorsque les résultats aux épreuves évaluant l'intelligence kinesthésique, musicale et interpersonnelle étaient ôtées des analyses. L'émergence d'un facteur *g* à partir des cinq autres épreuves n'est pas prévue dans la théorie des intelligences multiples, puisque celle-ci présuppose l'indépendance des différentes formes d'intelligence

Les résultats obtenus aux épreuves testant les intelligences multiples ont aussi été comparés aux performances à l'épreuve d'intelligence générale. Les performances à toutes les épreuves « purement cognitives » parmi celles destinées à évaluer les intelligences multiples étaient significativement et positivement corrélées avec la mesure de l'intelligence générale. Ainsi, ces résultats indiquent par exemple que lorsqu'une personne a de bonnes performances aux épreuves d' « intelligence logico-mathématique », elle a de bonnes performances aux épreuves d'« intelligence naturaliste ». La théorie

des intelligences multiples suppose pourtant que les formes d'intelligences sont indépendantes les unes des autres. Or, seules les épreuves évaluant l'intelligence kinesthésique, l'intelligence musicale ainsi que l'une des deux épreuves d'intelligence intrapersonnelle n'étaient pas positivement corrélées avec le test d'intelligence générale, ce qui est bien peu relativement à ce que prédit la théorie. Et encore, sans qu'il soit utile de rentrer dans ce niveau de détail, les résultats pour ces trois cas sont nuancés par les auteurs de l'étude. Ainsi, il s'avère que les épreuves que Visser et ses collaborateurs ont soigneusement choisies pour évaluer chacun des types d'intelligence identifiés par Gardner, montrent des liens entre la plupart d'entre elles.

Étant donné que, dans les tâches orientées vers la mesure d'habiletés non linguistiques, la plupart des épreuves ne mobilisaient pas les compétences verbales, les auteurs soulignent que les corrélations observées ne peuvent pas être attribuées aux seules compétences linguistiques, comme Gardner en fait l'objection pour les épreuves conduisant à l'estimation du facteur *g*. Les arguments pour réconcilier ces résultats avec la théorie de Gardner et justifier ainsi les corrélations trouvées, manquaient donc. Cette étude échoue à trouver des apports de la théorie des intelligences multiples par rapport aux théories de l'intelligence générale fondées sur les liens entre différentes aptitudes. Les auteurs encouragent donc une approche prudente de la théorie des intelligences multiples, notamment en matière de propositions pédagogiques.

CONCLUSION

La théorie des intelligences multiples, aussi séduisante qu'elle soit, parait sans fondement empirique solide. Les données favorables à l'indépendance de ces intelligences s'avèrent ténues. Or si l'indépendance n'est pas avérée, cela réintroduit le facteur *g*, comme le montrent les études de Visser et de ses collaborateurs. Les résultats de travaux en neurosciences n'ont pas été plus concluants : les études en imagerie cérébrale ou par d'autres techniques d'investigation des mécanismes cérébraux n'ont pas non plus produit de résultat en faveur des intelligences multiples conduisant par exemple à isoler des structures neuronales spécifiques.

Le peu de soutien empirique à la théorie des intelligences multiples affaiblit sa pertinence théorique, mais pas celle des questions essentielles pour l'éducation sur lesquelles elle s'est construite, telles que la valorisation d'une plus grande variété d'aptitudes des élèves, en allant au-delà d'une conception purement « logicolinguistico-centrée » de l'éducation et en laissant une place plus large à d'autres talents. Que ces talents ne soient pas aussi indépendants entre eux que Gardner ne l'a défendu, et semblent reposer plutôt sur une variété d'habiletés cognitives plus élémentaires interagissant les unes avec les autres, ne condamne pas dans son principe la pertinence d'une telle approche ni l'intérêt des enjeux éducatifs qui la sous-tendent.

Toutefois, malgré le souci constant d'Howard Gardner de minorer cet aspect en l'attribuant à des mesures parcellaires de l'intelligence par les tests, il est difficile de mettre de côté le lancinant constat selon lequel les cercles paraissent soit vertueux soit vicieux en ce que la réussite prédit la réussite et l'échec prédit l'échec. Peut-être faut-il admettre que les élèves ne sont pas tous tenus d'être exceptionnels quelque part et interroger ce besoin de faire se distinguer particulièrement un individu pour le faire exister. Une autre

implication est que si l'on admet que chacun peut apprendre et progresser, les réussites ont de fortes chances d'être associées à d'autres réussites, facteur *g* oblige, ce qui pour les élèves comme pour les enseignants s'avère plutôt réjouissant.

On peut également se demander si le simplisme était bien du côté où Gardner a cru le voir ? En effet, les théories récentes de l'intelligence, tout en attribuant un rôle important à *g*, sont beaucoup moins monolithiques que l'idée du QI ne le laisse penser. Même si le QI est une simple valeur, les tests d'intelligence sont en mesure d'en dire beaucoup plus que cette unique valeur, qui a les forces et les faiblesses d'une moyenne, mais dont la puissance est accrue par le fait que les corrélations positives observées de manière robuste rendent cette valeur d'autant plus informative. Surtout, des théories qui admettent le facteur *g* comme un indicateur crucial n'en ont pas moins le souci de procéder à des analyses bien plus fines. Ainsi, la théorie CHC (acronyme de ses auteurs, les psychologues Raymond Cattell, John Horn et John Caroll), influente actuellement dans le champ des théories de l'intelligence, conduit à une série de distinctions telles que celle entre l'intelligence fluide et l'intelligence cristallisée. Elle a l'intérêt de différencier des habiletés plus routinières d'autres plus créatives, et surtout d'avoir élaboré un modèle à trois strates qui permet des analyses à différents niveaux de détail et, de ce fait, évite l'écueil d'une liste figée d'intelligences qui parait, elle, simplificatrice. La théorie CHC offre également la possibilité de réaliser, à des niveaux d'analyse fins, des correspondances avec des processus étudiés pour eux-mêmes : mémoire, raisonnement, compréhension, traitements perceptifs, etc. Le QI parait alors être une sorte d'épouvantail qui met à distance des tests psychométriques le grand public et certains enseignants, alors que les tests qui conduisent à l'établir offrent une palette d'informations immensément plus riche que cela, dont les acteurs de l'éducation auraient potentiellement un fort intérêt à se saisir.

Toute compréhension d'une situation, toute pensée, toute décision, reposent sur des concepts, qu'il s'agisse de concepts de la vie quotidienne ou de concepts acquis dans le cadre de l'école. La

manière dont ces concepts plus ou moins abstraits contribuent à l'intelligence, et dont l'acquisition de nouveaux concepts fait évoluer cette dernière, reste un sujet encore peu exploré par les théories de l'intelligence. Dans la lignée de traditions innéistes, ces théories ont tendance à envisager l'intelligence comme une mise en œuvre de facultés. Dans la théorie des intelligences multiples de Gardner, celles-ci sont indépendantes les unes des autres, nommément identifiées et en quantité fixée, alors qu'elles sont dépendantes les unes des autres et analysables à différents niveaux de granularité dans la théorie CHC. Or, résoudre un problème tout comme réaliser des productions importantes, pour reprendre la caractérisation de l'intelligence proposée par Gardner, requiert de faire appel à des concepts. Comme une large part des programmes scolaires est orientée vers l'acquisition de concepts, il parait fondé de se demander si « l'école rend plus intelligent » ! Une réponse positive à cette question encouragerait une vision de l'éducation orientée vers le développement de compétences transversales pour les élèves et, en miroir, une approche de l'intelligence intégrant plus largement les acquisitions de concepts. Cette problématique a fait l'objet d'une méta-analyse récente réalisée par Ritchie et Tucker-Drob (2018) sur la question « Jusqu'où l'éducation améliore-t-elle l'intelligence? ». Portant sur plus de 600 000 participants, elle aboutit à la conclusion que chaque année d'éducation fait gagner entre 1 et 5 points de QI. La phrase qui clôt l'article est éloquente : « Jusqu'à présent, l'éducation apparait être la méthode la plus cohérente, la plus robuste et la plus durable pour accroitre l'intelligence. » ; *g* n'est pas figé.

5

QUAND JE DORS, J'APPRENDS

LE MYTHE

Le sommeil reste un état encore assez méconnu. Ce domaine de recherche est en pleine expansion et de nombreuses questions perdurent, comme celles autour de sa ou de ses fonctions exacte(s). Dormir sert bien entendu à restaurer nos ressources énergétiques, nos capacités d'attention et de concentration. Pourquoi avons-nous toutefois besoin de sommeil alors que cela présente quelques inconvénients majeurs comme de nous mettre dans une situation de vulnérabilité ? En partie, il échappe à notre contrôle ; tantôt il nous envahit et nous devons alors lutter pour ne pas « sombrer dans le sommeil » ; tantôt il se refuse à nous, et c'est alors l'insomnie qui s'annonce. Avec l'essor de la psychanalyse notamment, le sommeil a été considéré comme un révélateur des aspects cachés d'une personnalité, comme si la vigilance du moi socialement présentable était prise en défaut durant le sommeil et, en particulier à travers les rêves, qu'une réalité plus profonde de nous transparaissait. D'où le succès et le mystère qui règnent autour de l'interprétation des rêves ou des mots et phrases que nous pouvons prononcer en dormant. Le somnambulisme, quant à lui, fascine et inquiète en même temps.

Outre cette facette supposément pleine de mystère du sommeil, chacun aimerait mettre à profit cette période, en faire un moment à part entière de la vie, qui contribuerait à enrichir les états d'éveil. On sait maintenant que le sommeil n'est pas une unité homogène : chaque nuit de sommeil se compose de plusieurs cycles, au minimum 4 et au maximum 8, d'une durée très variable mais d'1 heure 30 en moyenne, chacun de ces cycles étant lui-même composé de phases assez différentes. La distinction principale entre ces phases oppose un sommeil rapide, qualifié également de paradoxal, durant lequel nos mouvements d'yeux (pourtant fermés) se poursuivent, à un sommeil lent profond, qualifié aussi de sommeil à ondes lentes, sans mouvements oculaires. La présence de mouvements oculaires durant

le sommeil rapide a longtemps conduit à associer cette phase au moment de rêve même si des travaux ont montré qu'il ne se cantonne pas à cette phase. Normalement, nous effectuons au minimum 4 cycles par nuit, et ainsi le sommeil occupe en moyenne près du tiers de la durée totale de notre existence. Le sommeil est généralement perçu comme un moment obligatoire, inutile et passif, consacré uniquement à « recharger ses batteries » ; pour le philosophe Arthur Schopenhauer « Le sommeil est pour l'ensemble de l'homme ce que le remontage est à la pendule ». Est-ce pour autant une fatalité ? Optimiser son sommeil est devenu un objectif pour beaucoup, qui tentent de réduire la durée de leurs nuits et/ou d'augmenter « l'efficacité » de leur sommeil. En effet, autour de l'idée même de « sommeil réparateur » s'agrègent différents attributs quasi magiques du sommeil : « la nuit porte conseil », « on grandit en dormant », et « quand je dors, j'apprends ». Il serait effectivement formidable de pouvoir apprendre pendant son sommeil et de rendre ainsi productif cet état d'apparente passivité. Apprendre ses cours en dormant, ce qui signifie donc sans effort, est une idée qui séduirait plus d'un élève. Alors qu'en est-il ? Une des fonctions du sommeil est de renforcer la mémoire. Or mémoire et apprentissage sont intimement liés. D'où le mythe qui s'est développé autour du sommeil et de l'apprentissage.

QU'EN DIT LA RECHERCHE ?

Consolidation des apprentissages durant le sommeil

Il est connu depuis longtemps que le sommeil est favorable à la mémorisation. Déjà Quintilien au I^{er} siècle remarquait « La mémoire est infidèle aux idées trop récentes. Il est étonnant, et je n'en découvre pas la raison, combien une nuit d'intervalle développe et affermit ces idées. Est-ce parce que le repos est favorable à la

mémoire ? Est-ce qu'elle a besoin de digérer ou de murir ce qu'on lui a confié ? [...] des choses qu'on ne se rappelle pas sur l'instant, se représentent le lendemain dans un ordre parfait, et que ce même laps de temps, qui est d'ordinaire une cause d'oubli, ne fait alors que consolider les souvenirs. » Cet impact du temps qui dégrade la mémoire fut bien plus tard, en 1885, formalisé sous le terme de « courbe de l'oubli » par Ebbinghaus. Puis Jenkins et Dallenbach en 1924 ont proposé un paradigme pour étudier le rôle du sommeil dans l'apprentissage. Dans leur expérience, les participants devaient apprendre des listes de syllabes sans signification particulière, puis certains dormaient et d'autres étaient privés de sommeil, avant de subir le lendemain divers tests de restitution de ces syllabes à intervalles réguliers. Les résultats montraient que ceux qui avaient dormi oubliaient moins que ceux qui avaient été privés de sommeil. Dormir aiderait donc à « ne pas oublier » et ainsi à conserver en mémoire sur un plus long terme. Les biais méthodologiques de cette étude étaient toutefois nombreux : seulement deux participants, la comparaison était faite entre quelqu'un de fatigué sans nuit de sommeil et quelqu'un de reposé et ayant dormi, etc.

De multiples études se sont appuyées par la suite sur le même paradigme, en contrôlant les conditions d'expérimentation de manière plus stricte. C'est le cas par exemple d'une recherche de Benson et Feinberg (1977), où 60 participants étudiaient des paires de mots sans lien de signification entre eux, puis étaient testés sur ce qu'ils avaient retenu de ces associations. La moitié d'entre eux avait appris ces mots en fin de soirée et dormait ensuite, tandis que l'autre moitié les avait appris en début de matinée. Dans une deuxième phase de l'expérience, tous les participants étaient testés 8 heures puis 24 heures après leur apprentissage. Au bout de 8 heures, le groupe ayant dormi progressait légèrement (+0,3 paires de mots retenues en moyenne) contrairement au groupe n'ayant pas dormi, qui lui régressait franchement (−3,2 paires de mots en moyenne) et l'écart restait marqué 24 heures après l'apprentissage (−0,7 paires pour le premier groupe versus −3 paires pour le second). L'éveil en lui-même détériore les apprentissages tandis que dormir permet leur

stabilisation. Toutefois, ces travaux n'expliquent pas les mécanismes sous-jacents à cet effet du sommeil sur la mémorisation : pourquoi le sommeil protège-t-il de l'érosion de la mémoire ? Des travaux en neurosciences se sont penchés sur cette question, et ont élaboré deux hypothèses principales.

La plus communément acceptée, défendue notamment par l'équipe de Jan Born de l'Université de Tübingen, est que le sommeil provoquerait la réactivation de ce qui s'est déroulé durant la journée. Selon cette hypothèse, les connaissances nouvelles seraient, en période d'éveil, stockées dans l'hippocampe. Mais sous quelle forme ? Loin de l'image d'une mémoire composée de petits compartiments bien délimités, les connaissances nouvellement apprises, les souvenirs donc, sont stockés sous la forme de connexions synaptiques entre neurones. Et durant le sommeil, une réactivation des neurones dans l'hippocampe est observée. Cela est compatible avec le scénario d'un cerveau rejouant au cours du sommeil les scènes vécues pendant l'éveil. Cette réactivation permettrait d'une part de consolider les souvenirs formés à l'éveil, ce qui revient donc à renforcer les connexions entre les neurones activés par un souvenir, et d'autre part conduirait au transfert des informations mémorisées vers un espace de stockage à long terme, le cortex cérébral, libérant ainsi en quelque sorte un peu d'espace au niveau de l'hippocampe pour pourvoir apprendre de nouveau au réveil. Ce renforcement de la mémorisation se traduit sur le plan neuronal par un renforcement des connexions synaptiques. Le cerveau contenant près de 120 milliards de neurones connectés entre eux par des millions de milliards de synapses, le renforcement des connexions signifierait que l'accès à l'information en mémoire est facilité.

La deuxième hypothèse tente d'expliquer comment un cerveau peut avoir une capacité d'apprentissage illimitée tout en ayant un espace de stockage des informations limité. Le sommeil permettrait donc d'oublier les souvenirs non importants afin que la capacité de stockage du cerveau ne soit pas « saturée ». Sur le plan neuronal, cela se traduirait par le fait que les synapses se réduisent au cours du

sommeil, aussi bien en nombre, en taille qu'en force. Ainsi, le sommeil lent profond provoquerait la diminution de la force des synapses, les plus faibles disparaissant et les plus importantes se maintenant, comme si un jardinier venait, chaque nuit, élaguer les branches les moins prometteuses. Le sommeil permettrait donc d'éliminer les informations ténues. Grâce à cette modalité de raffinement des informations conservées, l'individu se préparerait à la journée du lendemain pour pouvoir établir de nouvelles connexions. Cette dernière hypothèse est défendue en particulier par l'équipe de Giulio Tononi et Chiara Cirelli à l'Université du Wisconsin, qui se réfère à ce sujet au phénomène d'homéostasie durant le sommeil. Les deux hypothèses mentionnées ne sont pas pour autant contradictoires, car le sommeil peut conduire à la fois à oublier ce qui parait mineur et à réactiver les informations perçues et les connaissances apprises durant la journée. Des travaux récents , portant sur l'apprentissage d'informations nouvelles (Andrillon, Pressnitzer, Léger et Kouider, 2017) ont même établi que ces deux phénomènes s'observent à des stades différents du sommeil, ce qui conforterait la possibilité que les deux hypothèses soient recevables : réactivation des informations nouvelles et élagage des synapses superflues.

Renforcement des apprentissages durant le sommeil

Une période de sommeil après un apprentissage favorise donc le maintien de connaissances préalablement acquises, par migration des informations stockées dans la structure de l'hippocampe vers le cortex et/ou par élagage des connexions les moins importantes. Le sommeil peut-il pour autant renforcer les apprentissages, c'est-à-dire non seulement consolider mais accroitre également la connaissance acquise ? La recherche précédemment citée de Benson et Feinberg (1977) indique une légère progression lors d'un test après 8 heures avec une phase de sommeil entre les deux. Ce résultat est-il généralisable ? De nombreuses expériences ont testé des participants avant et après une phase d'éveil sur différents types de tâches. Cela pouvait concerner des connaissances déclaratives,

énonçables verbalement, tout comme des connaissances procédurales, faisant intervenir des habiletés motrices (faire ses lacets, faire du vélo, etc.) et le plus souvent difficiles à énoncer. Par exemple, il pouvait être demandé aux participants d'apprendre des paires de mots (telles que bras-bandage) ou d'apprendre à frapper dans un ordre précis une série de touches sur un clavier. Ainsi, dans une expérience de Stickgold (2000), des participants adultes étaient entrainés à une tâche de discrimination visuelle. Plus précisément, il s'agissait d'indiquer le plus rapidement possible en appuyant sur les touches d'un clavier la présence de la lettre 'L' ou de la lettre 'T' au centre de l'écran et la position (horizontale ou verticale) de 3 traits présents à l'écran. Ensuite, ces participants étaient soumis à un test, qui consistait à refaire la tâche, après des intervalles de 3 heures, 6 heures, 9 heures et 12 heures. La tâche était facile ; c'est la vitesse de réponse qui constituait l'indicateur d'apprentissage. Leurs performances sont restées stables à ces différents tests. Ensuite, certains participants dormaient pendant une nuit, puis étaient à nouveau testés chaque jour pendant une semaine. À l'inverse, un autre groupe de participants était soumis à une privation de sommeil la nuit suivant l'apprentissage et toute la journée suivante jusqu'à 9 heure du soir, puis dormait normalement les deux nuits ultérieures.

Cette étude a montré que la performance des participants ayant bénéficié d'une nuit de sommeil consécutivement à la tâche augmentait de jour en jour, et cela dès le lendemain de l'apprentissage. Au quatrième jour, leur vitesse de réponse s'était améliorée de 69 % par rapport au premier jour. Les résultats ont été différents pour le second groupe de participants. En effet, bien qu'ils aient pu dormir normalement durant les deux nuits suivant celle de privation, leurs performances sont restées largement inférieures à celles des groupes ayant pu dormir. Par exemple, au troisième jour, le premier groupe s'était amélioré de 64 % alors que le groupe ayant subi la nuit de privation de sommeil était resté stable[4]. Ainsi, alors que le premier groupe progressait entre chaque test, celui qui n'avait pas pu dormir la nuit suivant l'apprentissage n'a jamais progressé. Ces résultats suggèrent que l'amélioration des performances dépend

crucialement du sommeil qui suit l'apprentissage, tandis que, en l'absence d'épisode de sommeil consécutif, la durée séparant la phase d'apprentissage et la phase de test n'est pas en elle-même un facteur d'amélioration. Il ne s'agit donc pas simplement de « digérer » les informations en laissant le temps passer mais de les renforcer par une phase de sommeil qui suit l'apprentissage. Et, étant donné que ceux qui n'en ont pas bénéficié restent handicapés par ce manque en dépit des nuits de sommeil qui ont suivi, il semble raisonnable d'en conclure que la première nuit de sommeil, celle qui suit la phase d'apprentissage, est particulièrement importante.

Il apparait donc que le sommeil permet de consolider l'apprentissage, ce qui conduit à ce qu'une même tâche soit mieux réussie après une période de sommeil qu'avant celle-ci. Ainsi, depuis les premiers travaux de Jenkins et Dallenbach (1924), on a montré que le sommeil permet non seulement de ne pas oublier mais également de renforcer le souvenir et de gagner en performance. Mais le sommeil joue-t-il ce rôle de la même manière tout au long de la vie d'une personne ou son effet est-il plus important durant, par exemple, l'enfance ?

Des recherches ont comparé l'influence du sommeil en termes de renforcement des apprentissages chez des enfants et chez des adultes. Dans une expérience de Wilhelm (2013), 35 enfants de 8 à 11 ans et 37 adultes de 18 à 35 ans apprenaient une séquence motrice durant laquelle il leur était demandé d'appuyer successivement sur des touches au moment où celles-ci s'allumaient. L'ordre dans lequel se produisaient ces allumages obéissait à des critères qui n'étaient toutefois pas explicitement communiqués aux participants : la règle régentant ces allumages restait implicite. Il leur était ensuite demandé de reproduire la séquence en appuyant sur les touches. À l'issue de cette tâche, les participants dormaient pendant une nuit. Le lendemain, il leur était demandé de reproduire de nouveau la séquence, et le nombre de touches frappées successivement dans le bon ordre était compté. Alors qu'avant la phase de sommeil, les performances des adultes et des enfants étaient très proches, les enfants se sont révélés quasiment deux fois plus performants que les adultes le lendemain. Comment expliquer ce phénomène ?

La nuit des participants (enfants et adultes) a été enregistrée avec un électroencéphalogramme (EEG) – une technique d'imagerie permettant de mesurer l'activité électrique produite par les neurones grâce à des électrodes placées à la surface du crâne. Il a été constaté que la densité des ondes lentes durant un certain stade du sommeil était trois fois et demie plus importante chez les enfants que chez les adultes. Les ondes lentes sont associées à un certain stade du sommeil (*NREM 3, Mouvement Non Rapide des Yeux 3*) appelé sommeil lent profond. Grâce à l'électroencéphalographie, on observe ces ondes qui se caractérisent par une grande amplitude et une fréquence faible. Durant cette période, l'individu n'effectue pas de mouvements oculaires et son tonus musculaire est faible. Il a été constaté qu'à partir de la puberté, la densité d'ondes lentes diminue. Or la présence des ondes lentes est corrélée à la performance suite à un apprentissage. Le lien causal entre ondes lentes et performance n'a pas été prouvé, mais la présence plus importante des ondes lentes chez les enfants est une des hypothèses pour expliquer que le sommeil joue un rôle encore plus important dans le renforcement des apprentissages chez les enfants que chez les adultes. Ces études montrent ainsi que le sommeil permet de consolider des apprentissages réalisés durant un état de veille. Elles ne montrent pas en revanche que l'on puisse apprendre durant le sommeil. Toutefois, des travaux de neurosciences se sont intéressés plus directement à la question de l'apprentissage pendant le sommeil.

Apprendre grâce à une réactivation durant le sommeil

Une recherche de Rudoy et Voss (2009) a porté sur un jeu de Memory dans lequel la tâche des participants est de retrouver la position de 50 images sur un écran d'ordinateur. 50 images accompagnées d'un son spécifique étaient présentées à 12 participants âgés de 19 à 24 ans. Par exemple, l'image d'un chat était accompagnée d'un miaulement. Après une phase d'entrainement, les participants étaient testés pour retrouver la position des images sur l'écran, puis dormaient pendant une heure. Durant leur sommeil, les

participants entendaient la moitié des sons préalablement associés aux images. Au réveil, les participants étaient de nouveau testés. L'étude a montré qu'ils se souvenaient davantage de la position des images dont ils avaient entendu le son correspondant durant le sommeil que des autres images. Peut-on alors dire que le sommeil leur a permis d'apprendre ? Ces résultats s'interprètent de manière plus nuancée dans la mesure où l'apprentissage des positions des images avait été réalisé en phase d'éveil. En revanche, l'écoute des sons durant la sieste a permis de consolider plus spécifiquement la mémorisation des positions des images associées aux sons entendus durant le sommeil.

Une étude de Schreiner (2015) avec un paradigme similaire, cette fois dans un domaine directement lié aux apprentissages scolaires, est venue préciser ce résultat : 27 participants allemands écoutaient 120 mots en néerlandais suivis immédiatement de leur traduction en allemand. Ces participants n'avaient jamais étudié le néerlandais auparavant. Après cette première phase, ils passaient un premier test de vocabulaire (après avoir entendu un mot en néerlandais, ils devaient indiquer oralement sa traduction allemande). Ensuite, ils dormaient pendant 3 heures. Au cours de leur sommeil, les participants entendaient un tiers de mots en néerlandais, un tiers de mots en allemand et un tiers de mots en néerlandais suivis de leur traduction. Toutefois pour ce dernier tiers de mots, il y avait deux conditions : un groupe entendait 40 mots en néerlandais suivis de leur traduction en allemand, tandis qu'un autre groupe entendait 40 mots néerlandais suivis cette fois d'une traduction erronée. Après les 3 heures de sommeil, les participants étaient à nouveau soumis au test. Il s'est avéré que la réactivation des mots néerlandais sans aucune traduction durant le sommeil a permis un meilleur rappel au réveil par rapport aux mots non réactivés. Ceci confirme les résultats de l'étude précédente sur le jeu de Memory : une réactivation pendant le sommeil permet une meilleure consolidation. En revanche, lorsque le mot était suivi de sa traduction, exacte ou erronée, les performances étaient similaires à celles des mots non entendus durant le sommeil. Ainsi, le caractère correct ou non de la traduction

a été sans influence. Les chercheurs ont alors mis en place un groupe supplémentaire qui pour un tiers des mots n'entendait pas de traduction, pour un autre tiers entendait la traduction exacte 1500 millisecondes après le mot en néerlandais au lieu de 200 millisecondes dans la première expérience, et enfin pour le dernier tiers des mots entendait directement après un son. Cette dernière condition permettait d'élucider pourquoi la traduction bonne ou mauvaise n'avait eu aucun effet sur la consolidation. En effet, les résultats de ce deuxième groupe ont montré que les mots suivis directement d'un son ont été retenus aussi fréquemment que les noms non réactivés alors que les mots suivis d'une traduction différée ont été mieux retenus (dans une proportion similaire à celle de l'expérience précédente). Ce deuxième groupe a donc permis de mettre en évidence que l'intervalle de temps entre deux stimulus est crucial pour qu'il y ait un rappel : si le deuxième stimulus (son ou traduction) suit le premier (mot en néerlandais), il n'y a pas de consolidation. Il faut une absence de stimulus après le premier pour qu'il y ait davantage de rappel au réveil. Ainsi, on constate qu'entendre la traduction ne permet pas un meilleur apprentissage, alors même que la tâche demandée au réveil est de donner la traduction. L'association entre les deux mots ne se fait donc pas durant le sommeil : c'est l'activation d'une association antérieurement construite qui s'avère efficace plutôt que l'introduction d'une nouvelle association.

Apprendre en dormant

Ainsi, il semble maintenant avéré que si l'on réactive certaines informations durant le sommeil, elles seront mieux retenues. Qu'en est-il en revanche d'un apprentissage réalisé uniquement pendant le sommeil ? Est-on en mesure de réaliser des tâches durant notre sommeil ? En restera-t-il quelque chose au réveil ? Kouider, Andrillon, Barbosa, Goupil et Bekinschtein (2014) ont demandé à des participants adultes de catégoriser des animaux ou des objets (chien, livre, etc.) : s'ils entendaient le nom d'un animal, ils devaient appuyer

sur un bouton avec leur main gauche, et sur un autre bouton avec leur main droite si c'était le nom d'un objet. Cette tâche nécessite pour le participant d'encoder l'information (le nom entendu), de reconnaitre la signification du mot entendu et enfin de prendre une décision. Les participants commençaient par une période d'habituation en s'entrainant à la tâche en phase d'éveil. Puis ils s'endormaient pour une sieste tout en poursuivant la tâche. Grâce à l'EEG, les chercheurs pouvaient identifier à quel moment les participants s'endormaient, c'est-à-dire entraient en stade de NREM1. Si on réveille la personne, elle n'est pas forcément consciente qu'elle dormait. Mais grâce à l'EEG, on mesure un ralentissement des fréquences et de l'amplitude des ondes. Est-ce que, dans leur sommeil, les participants allaient se souvenir de la règle apprise et proposer la réponse adaptée ?

Bien entendu, durant le sommeil, le participant ne bouge plus et ne peut donc plus appuyer sur le bouton. La préparation de la réponse motrice (bouger la main droite ou la main gauche) peut toutefois être repérée grâce à l'EEG : on constate davantage d'activation dans les aires motrices de l'hémisphère gauche ou droit selon la main dont on anticipe le mouvement. Les résultats montrent en effet que, même endormis, les participants continuent de préparer la réponse adaptée au nom entendu. Tout en dormant, il est donc possible de maintenir une tâche de catégorisation assez complexe. On pourrait penser qu'il s'agit seulement d'une habituation à des mots : « j'ai entendu « chien » en phase d'éveil, et j'ai appuyé sur le bouton gauche, et en phase de sommeil, quand j'entends de nouveau « chien », j'appuie de nouveau à gauche ». Pour s'assurer qu'il ne s'agit pas simplement de cela, la liste des noms entendus durant le sommeil est nouvelle dans l'expérience. Les participants ont donc bien continué de traiter les noms entendus et de les catégoriser.

Qu'en est-il au réveil ? Les participants se souviennent-ils des mots entendus et traités durant le sommeil ? La réponse est négative : lorsqu'on leur demande de classer différents noms comme entendus ou non, ils ne réussissent pas à faire la différence entre les deux. Les recherches se poursuivent pour tenter de mieux comprendre si

l'apprentissage est possible durant le sommeil. Dans une étude d'Andrillon, Pressnitzer, Léger et Kouider (2017), les 20 participants adultes devaient tout d'abord dans une phase d'éveil faire la distinction entre des bruits blancs (sortes de grésillements de radio) et d'autres bruits très similaires à ces bruits blancs. Puis tout en réalisant la tâche, les participants s'endormaient pour une nuit complète. Durant leur sommeil, de nouveaux bruits étaient introduits pendant trois stades distincts : sommeil lent léger (*NREM2),* lent profond (*NREM3),* et sommeil paradoxal (*REM ;* Mouvement Rapide des Yeux). Au réveil, les participants devaient de nouveau réaliser la tâche de distinction des bruits en réécoutant l'ensemble de ceux entendus depuis la phase d'éveil. En premier lieu, il a été constaté que les participants distinguent mieux les bruits réactivés pendant le sommeil paradoxal, ce qui confirme de précédents résultats chez l'humain et l'animal (notamment par des travaux montrant la possibilité de conditionner par la peur des rongeurs pendant le sommeil paradoxal). Toutefois, la nouveauté de l'étude réside dans le fait que les participants distinguent également mieux les bruits écoutés pour la première fois dans deux des phases de sommeil (*REM* et *NREM2*) mais non en phase de sommeil lent profond (*NREM3*), et ce aussi bien en termes d'exactitude des réponses qu'en termes de temps de réaction. Ce résultat éclaircit un peu les mécanismes d'apprentissage durant le sommeil : ce serait dans les phases de sommeil paradoxal (*REM*) et de sommeil lent léger (*NREM2*) que des informations pourraient encore être traitées et apprises. Petit à petit, les travaux de neurosciences commencent à éclaircir les mécanismes qui sous-tendent la consolidation : une réactivation durant le sommeil a un impact sur la performance au réveil, et des informations peuvent être traitées et apprises au cours de certains stades du sommeil. On est cependant bien loin d'avoir élaboré une méthode qui permette d'apprendre ses cours tout en dormant !

QUELQUES EXEMPLES

Conditionnement ou apprentissage ?

Une étude a cherché à associer l'odeur de cigarette à des odeurs nauséabondes afin de réduire la consommation de tabac (Arzi, 2014). Les participants portaient un masque nasal qui leur insufflait des odeurs, avec une intensité suffisamment faible pour ne pas les réveiller s'ils étaient endormis. Plusieurs groupes de participants adultes ont été constitués : un groupe à qui on faisait sentir des odeurs nauséabondes et des odeurs de cigarette en état de veille, un groupe à qui on associait ces mêmes odeurs durant leur sommeil, un groupe à qui on faisait sentir seulement les odeurs nauséabondes durant leur sommeil et un dernier groupe qui sentait uniquement l'odeur de cigarette durant le sommeil. C'est uniquement dans le cas du groupe qui avait reçu concomitamment l'odeur de cigarette et l'odeur nauséabonde durant le sommeil qu'une réduction de la consommation de cigarette a été observée (sur une durée d'une semaine dans le cadre de cette recherche). Ce résultat est d'autant plus notable que la même association a été sans effet lorsqu'elle a été opérée en état de veille. Les participants ont donc appris une certaine association durant leur sommeil, qui a eu ensuite un effet sur l'éveil. On peut tout à fait défendre l'idée que cet apprentissage est un cas de conditionnement et se demander dans quelle mesure il est concevable de le généraliser à des apprentissages plus conceptuels. En tout cas, le sommeil a eu un effet propre sur cette association entre odeur de cigarette et odeur nauséabonde car la même association opérée en état de veille a été sans effet sur la réduction de la consommation de tabac.

Le rôle de la sieste pour les apprentissages

Jusqu'en début de maternelle, les enfants sont incités à faire la sieste. Une recherche (Kurdziel, 2013) a porté précisément sur le rôle de la sieste dans la consolidation des apprentissages. Dans cette étude, des enfants de 3 à 6 ans jouaient à un jeu de Memory et devaient retenir la position de 9 ou 12 paires d'images. Une partie d'entre eux

faisait ensuite une sieste tandis que l'autre réalisait des activités usuelles. L'ensemble des enfants a été testé en jouant au jeu de Memory le jour même, juste après la sieste ou la période d'activité, selon le groupe concerné, puis le lendemain. Les résultats montrent une amélioration de la mémorisation de la position des images chez les enfants qui ont fait une sieste. La sieste permet donc de maintenir des informations. Toutefois, ce bénéfice n'a été montré que pour les enfants qui faisaient régulièrement la sieste. Cela signifierait qu'il ne faut pas priver de sieste des enfants qui en éprouvent le besoin, car ce temps est nécessaire pour qu'ils consolident les informations. Le sevrage de la sieste se justifie uniquement lors d'une certaine maturation cérébrale qui leur permet de traiter une plus grande quantité d'informations durant la journée et qui pourra être consolidée ensuite durant la nuit. La sieste, comme n'importe quelle période de sommeil, n'est donc pas du temps perdu. Ce moment permet à l'enfant de se reposer et de consolider les apprentissages, puisque dès qu'on entre en sommeil lent léger, on peut consolider. Ainsi, plus on grandit, plus on pourrait attendre pour faire une seule « sauvegarde » (la nuit). On n'aurait plus besoin d'en faire plusieurs au cours d'une même journée.

CONCLUSION

Que le sommeil ait un rôle essentiel dans la consolidation des apprentissages est un fait maintenant établi : la consolidation libèrerait de l'espace, des ressources cérébrales, assurant un meilleur apprentissage au réveil. Des travaux ont également montré que des informations communiquées durant le sommeil permettent de réactiver des connaissances acquises en état d'éveil. Sans que l'état des recherches dans le domaine permette d'établir avec précision les moments et durées idéales de sommeil pour optimiser les apprentissages d'un élève, il est établi que dormir est loin d'être une perte de temps et que l'état de sommeil est une étape utile pour les apprentissages.

En revanche, les résultats sont moins probants concernant un authentique apprentissage durant le sommeil, même si des travaux récents permettent d'envisager ce phénomène à un niveau limité et dans les phases les moins profondes du sommeil. Quelques hypothèses peuvent être émises quant à ces maigres possibilités d'apprentissage durant le sommeil, qui contrastent fortement avec les vertus consolidatrices et renforçatrices du sommeil. Ainsi, notre cerveau ne cesse pas ses interactions avec l'environnement, comme le montre l'expérimentation indiquant que de simples bruits entendus durant le sommeil peuvent laisser des traces en mémoire. Pour autant, on ne peut pas dire que la capacité d'acquérir de nouvelles connaissances en dormant ait été mise en évidence. Pourquoi notre cerveau, bien que traitant l'information, n'apprend-il pas significativement durant le sommeil ?

Plusieurs hypothèses peuvent être émises (Andrillon, 2016). Une possibilité est que, durant le sommeil, les systèmes de mémoire soient impliqués dans la consolidation des apprentissages déjà existants pouvant impliquer une déconnexion des systèmes sensoriels entre eux ou avec le monde extérieur, afin d'empêcher des

interférences pendant que les apprentissages de la journée sont renforcés. Étant donné que les modifications des synapses sont à la base de toute forme d'apprentissage, il est également envisageable que la plasticité synaptique, mécanisme central de l'apprentissage, soit modifiée durant le sommeil, empêchant la mémorisation. Ces mécanismes sont en effet sous le contrôle de *neurotransmetteurs* (molécules chimiques libérées par les neurones et agissant sur d'autres neurones) tels que l'acétylcholine et la noradrénaline. Or l'acétylcholine est à un niveau de sécrétion bas durant le sommeil *NREM* et la noradrénaline est nulle en sommeil *NREM* et *REM*. Sans ces neurotransmetteurs, la plasticité synaptique est altérée et ne permet pas la formation de nouveaux souvenirs et donc l'apprentissage. Une dernière hypothèse concerne la force des souvenirs. La mémoire des mots est souvent associée à un souvenir du contexte dans lequel les mots ont été appris (*mémoire épisodique*). Connaitre l'origine d'un souvenir peut augmenter notre confiance dans sa fiabilité, ce qui est crucial pour l'utiliser de manière optimale.

Apprendre pendant le sommeil nécessite de perturber le sommeil lui-même, par des sons ou des odeurs par exemple. Cette perturbation du sommeil destinée à faire apprendre va entrer en compétition avec les mécanismes de consolidation. Elle se fait donc au détriment de nos capacités spontanées de consolidation. En outre, même si des apprentissages très élémentaires sont concevables à certaines phases du sommeil, de là à imaginer que nous puissions un jour apprendre des connaissances nouvelles en dormant, « télécharger » en quelque sorte des savoirs dans les cerveaux des élèves, il y a un pas gigantesque, pour ne pas dire un précipice, qu'aucune recherche ne permet actuellement de franchir. Il semble donc que l'école et l'enseignement aient de beaux jours devant eux face à des élèves éveillés. Le sommeil participe pleinement au cycle des acquisitions de connaissances dans sa phase de consolidation et gagne à ce titre à être favorisé. Pour autant, il ne constitue en rien un raccourci empruntable pour court-circuiter les questions posées par le champ de la psychologie des apprentissages.

6

SE TROMPER, C'EST ÉCHOUER

LE MYTHE

Les conceptions communes de l'erreur lui sont défavorables. Perçu comme un signe d'inadéquation entre une attente et la réalité, se tromper est rarement vu de manière positive. Celui qui se trompe, qui est dans l'erreur, se situe dans un univers aux lois qui lui échappent. L'image d'Épinal du bon élève est celle d'une personne qui ne se trompe pas. L'erreur apparait comme un échec, un manquement par rapport à une norme, dont découle un jugement de valeur : « avoir mal fait ». La bienveillance conduit éventuellement à tolérer l'erreur et à dire par exemple : « Ce n'est pas grave, l'essentiel est de ne pas la reproduire. », mais certainement pas à l'encourager. Cette conception négative de l'erreur a des racines anciennes, déjà incarnées par la célèbre locution latine, *Errare humanum est, Perseverare diabolicum*[5].

Cette vision de l'erreur s'inscrit dans une conception continuiste de la psychologie humaine selon laquelle le présent est une amplification du passé. Cette conception est présente dans les notions de cercle vicieux tout autant que de cercle vertueux, pour lesquelles un phénomène en entraine un autre de même nature en l'amplifiant, pour le meilleur comme pour le pire. La métaphore du mauvais pli, que l'on poursuit une fois qu'il a été pris, véhicule aussi cette conception. Le philosophe Nietzsche disait également « L'épreuve d'expériences terribles conduit à se demander si celui qui les vit n'est pas lui-même quelque chose de terrible. », manifestant l'idée des traces indélébiles que laissent les expériences négatives. Les idées de poids de l'échec, de pente savonneuse, d'engrenage ou, à l'inverse, de bonne étoile, de baraka, d'étoile montante, de parcours sans tâche, s'inscrivent dans la même veine, tout comme le proverbe « qui vole un œuf vole un bœuf ». La théorie bourdieusienne de la reproduction sociale renvoie à sa manière à cette conception – non sur le plan individuel mais sur le plan social – selon laquelle l'échec mène à l'échec et la réussite à la réussite, à une échelle

transgénérationnelle.

Cette vision négative de l'erreur va de pair avec une vision positive de la réussite. Sur le plan psychologique, elle conduit à encourager le succès et à décourager l'erreur. Cette conception négative de l'erreur épouse donc en même temps une vision positive de la réussite. Chaque succès serait alors doublement signe de réussite, d'une part en tant que tel, et d'autre part parce qu'il armerait mieux pour les succès suivants : « On ne prête qu'aux riches. » De cette vision capacitante de la réussite comme renforçatrice de réussites futures, découle pour partie la tendance à promouvoir pour l'éducation des stimulations ininterrompues et des environnements enrichis dans lesquels on pourrait plonger les enfants pour « booster leur cerveau » afin que rien ne leur résiste par la suite. Il s'agit alors d'une généralisation à la cognition entière de la conception de la mémoire comme un muscle : l'effet boule de neige appliqué à la réussite, qui ne laisse aucune place favorable à l'erreur.

Pourtant cette vision monochrome de l'erreur ne va pas de soi. Tant dans le champ philosophique que dans celui de l'éducation, l'erreur n'est en effet pas toujours nimbée de cette aura manichéenne d'échec aux conséquences délétères. Elle peut parfois, à l'inverse, avoir une connotation nettement plus positive et être valorisée pour ses conséquences. Pour citer à nouveau le philosophe Friedrich Nietzsche, l'idée que l'échec est formateur est également ancrée dans une conception de la psychologie humaine : « Ce qui ne me tue pas me rend plus fort. », dit-il dans une de ses citations les plus célèbres. Et le sens commun accepte volontiers l'idée « d'apprendre de ses erreurs ». Le psychologue Jean Piaget a développé une théorie qui accorde une place prépondérante à l'erreur, en particulier à travers le mécanisme « d'assimilation-accommodation », qui la place au cœur même du développement de l'enfant. Ainsi, dans la théorie piagétienne, l'enfant se développe en construisant des schèmes de connaissance, qui lui permettent de faire face aux situations rencontrées. Ces schèmes sont assimilateurs au sens où l'enfant perçoit d'abord une situation en prenant la perspective dictée par le schème qu'il lui associe, ce qui le conduit à se comporter d'une

certaine manière dans cette situation. Toutefois, ce versant du schème est le rythme de croisière cognitif pour l'enfant, celui qui lui permet d'agir mais pas véritablement d'apprendre et encore moins d'évoluer. En revanche, le versant accommodateur du schème a un rôle crucial dans le développement car il conduit à sa transformation pour faire face à des situations pour lesquelles il est inadapté dans sa forme présente. Or les tentatives d'accommodation sont justement initiées par l'écart entre les attentes de l'enfant telles que son schème les prédit et ce qui se produit effectivement dans son environnement. Autrement dit, le constat d'erreur est au cœur de la possibilité de se développer – de quitter son rythme de croisière pour se transformer. Des recherches en psychologie de l'éducation se situant dans le prolongement des travaux de Piaget ont elles aussi considéré l'erreur comme décisive dans les apprentissages, notamment en se reposant sur la notion de conflit sociocognitif, qui se produit lors d'interactions sociales au cours desquelles plusieurs enfants réalisent des tâches et choisissent des options divergentes pour les résoudre puis tentent de produire une réponse commune (Doise & Mugny, 1981).

La meilleure illustration du statut ambivalent de l'erreur dans les théories de l'éducation réside sans doute dans les oppositions théoriques au siècle dernier entre deux figures majeures du béhaviorisme, les psychologues américains Edward Thorndike et Burrhus Skinner, qui ont marqué le domaine de l'éducation aux États-Unis en inspirant de nombreuses expérimentations de programmes d'enseignement. Ces chercheurs étaient passionnés par l'étude des mécanismes d'apprentissage et convaincus du potentiel de leurs travaux pour révolutionner les apprentissages à l'école. Or, ils s'opposaient sur le rôle de l'erreur. Pour Thorndike, l'erreur est essentielle dans les acquisitions de connaissances, à travers le processus bien connu d' « apprentissage par essai-erreur » durant lequel la convergence progressive vers les comportements adaptés est favorisée en renforçant les réussites et en éliminant les erreurs, comme dans un processus de sélection darwinienne, appliqué cette fois non pas aux espèces et à l'évolution, mais aux comportements et à la connaissance. Néanmoins, alors que l'erreur est consubstantielle

aux apprentissages pour Thorndike, elle est au contraire superflue voire délétère pour Skinner. En effet, pour ce dernier, c'est la conduite souhaitée qu'il s'agit de renforcer chez l'élève et ce n'est qu'à travers de bons exemples et des comportements adaptés face à ces exemples que ce dernier progressera. L'erreur ne ferait que le détourner et ralentir ses apprentissages. Pour appuyer sa vision, Skinner (1968) souligne que : « Nous ne renforçons pas la bonne prononciation en punissant la mauvaise, ni des mouvements habiles en punissant la maladresse. » C'est donc à deux conceptions opposées de l'erreur que l'on se trouve confronté. C'est là que d'autres approches conceptuelles et d'autres moyens d'investigation peuvent être décisifs. Dès la fin des années 1980, des travaux, notamment de neuroscience, ont abordé ces questions avec des cadres et des méthodes qui ont permis de les revisiter.

QU'EN DIT LA RECHERCHE ?

Prédire pour s'ajuster

Une erreur peut donc se caractériser par un décalage entre ce que l'on a observé ou produit et ce qui était attendu par nous-même ou par d'autres. Dans cette perspective, certains modèles d'apprentissage (Friston, 2005 ; Tenenbaum, Griffiths & Kemp, 2006 ; Wacongne, Changeux & Dehaene, 2012) suggèrent que le cerveau apprend grâce à l'erreur. En effet, l'idée est que le cerveau fait en permanence des prédictions. Ces prédictions sont issues d'hypothèses entretenues à propos de l'état du monde, lesquelles ont été progressivement affinées sur la base de précédentes observations. Par exemple, notre expérience du monde nous enseigne qu'un objet tombe lorsqu'on le lâche. Il s'en suit que si une personne lâche un objet, nous sommes en mesure de faire la prédiction que cet objet va tomber. Une fois cette prédiction faite et l'action effectuée, le retour d'information du monde extérieur peut

être confronté avec la prédiction. Par exemple, un enfant peut observer qu'un bateau ne tombe pas, il flotte sur l'eau. Ce retour d'information crée un signal d'erreur ou de réussite selon la conformité ou l'absence de conformité avec la prédiction. Dans cet exemple, c'est un signal d'erreur si l'enfant s'attendait à ce que le bateau aille au fond de l'eau. Ce signal est alors utilisé pour actualiser les prédictions futures dans des nouveaux cas et, par exemple, permettre à l'enfant d'apprendre que certains objets flottent sur l'eau. Il s'agit alors d'un signal d'apprentissage dans la mesure où cette actualisation permet d'accroitre progressivement l'adéquation entre les prédictions réalisées et les observations qui proviennent de l'environnement.

Chez le bébé, des paradigmes d'habituation sont utilisés pour tester cette conception de l'apprentissage. Par exemple, dans une expérience de Dehaene-Lambertz et Dehaene (1994), des bébés entre 2 et 3 mois sont habitués à une certaine régularité auditive (ba, ba, ba, ba, ba). Dans un tel contexte où l'enfant est habitué à entendre une série de cinq sons identiques, le cerveau prédit que le prochain son sera « ba ». Grâce à l'électroencéphalogramme (EEG) qui enregistre l'activité du cerveau au moyen d'électrodes placées sur le crâne, on constate que cette activité diminue au cours de la phase d'habituation : la première syllabe n'est pas prédite et donne un signal très intense, puis le signal diminue dès la deuxième syllabe. Si le son inattendu « ga » est produit, ou s'il n'y a pas de son, une activité importante de même ampleur que lors du premier son est alors observée. Elle se propage dans le cortex. Lorsqu'il y a déviation de cette régularité, le cerveau génère un signal « d'erreur de prédiction, » observable à partir d'enregistrements de l'activité cérébrale, et ce dès la naissance (Dehaene-Lambertz, 2001 ; Mahmoudzadeh, 2013). Ce phénomène est un indicateur de notre tendance systématique à chercher à prédire des régularités du monde qui nous entoure et à comparer ces prédictions avec les observations issues de l'environnement.

Les signaux cérébraux de l'erreur

Dès le début des années 1990, des travaux en neurosciences ont conduit à l'enregistrement par électroencéphalographie des signaux cérébraux au moment où les individus réalisent qu'ils ne recevront pas de récompense. Les conditions expérimentales d'étude de ce phénomène sont classiquement les suivantes. Des images se succèdent sur un écran et les participants doivent décider si l'image est conforme à une certaine règle. Ils appuient le plus rapidement possible sur un bouton de réponse si c'est le cas et sur un autre sinon. Le participant reçoit ensuite un retour positif ou négatif de la part de l'ordinateur en fonction de sa réponse. La règle est implicite : elle n'est pas communiquée aux participants. Les participants ne peuvent donc se fonder uniquement sur les informations délivrées par l'ordinateur pour optimiser leurs bonnes réponses. Dans une étude de Holroyd et Coles (2002) utilisant ce protocole, les participants, adultes, recevaient en fonction de leur performance une récompense monétaire de quelques centimes, ou rien. Parallèlement, leur activité cérébrale était enregistrée à l'aide de l'EEG. Des signaux ont pu être observés dans le *cortex cingulaire antérieur* (zone du cortex préfrontal dont le rôle est connu dans l'anticipation de la récompense, la prise de décision et l'empathie), qui forment une onde appelée onde ERN, acronyme d'*Error-Related Negativity* (Négativité liée à l'erreur). Cette onde apparait en général quelques dizaines de millisecondes après qu'une erreur motrice ait été commise. L'hypothèse a d'abord été émise que l'onde ERN était une réaction au feedback négatif. En fait, le cerveau produit cette onde dans les 80 millisecondes après avoir déclenché l'action erronée (ici, ne pas avoir appuyé sur le bon bouton). Cela signifie que l'onde peut être produite avant même la finalisation de cette action. Il s'ensuit que ce n'est pas le retour d'information négatif de l'environnement qui provoque l'onde, mais que le cerveau anticipe l'erreur et lance un signal d'alerte avant le feedback de l'environnement. Bien entendu, le cerveau n'est pas devin. Ce phénomène s'explique parce que, dans une tâche élémentaire comme celle-ci, le participant peut se rendre compte qu'il a appuyé sur le mauvais bouton avant qu'un feedback ne soit produit par l'ordinateur. Cela accrédite l'hypothèse d'une comparaison systématique et irrépressible entre ce qui est produit et

ce qui est attendu.

Dans une circonstance comme celle-ci, un tel signal d'alerte a pour conséquence de ralentir les temps de réponse des participants aux questions suivantes. Par exemple, dans une recherche de Holroyd, Yeung, Coles et Cohen (2005), des étudiants à l'université devaient détecter si une lettre cible (H ou S) était présente au milieu d'une suite de lettres (telle que SSSHSSS, HHHHH, etc.). Les participants avaient pour consigne de répondre le plus rapidement possible et d'atteindre un taux de succès de 85 % au cours des différents essais. Dans l'une des expérimentations, les participants ne recevaient pas systématiquement de feedback (Succès-Erreur) après un essai. Le temps de réponse était néanmoins plus lent après avoir commis une erreur, y compris en l'absence de ce feedback négatif, ce qui confirme l'hypothèse de la perception d'une erreur qui conduirait à une vigilance accrue pour les essais suivants, se manifestant par une réponse moins rapide. Toutefois, si l'ERN témoigne de la détection de l'erreur, cela ne signifie pas que l'on sera en mesure d'éviter de commettre la même erreur la fois suivante. À cet effet, ce système de détection d'erreur est accompagné d'un autre système, qui réagit aux retours d'informations de notre environnement.

L'erreur de prédiction, un mécanisme d'apprentissage

Au retour d'information, le cerveau produit une autre onde, appelée *Feedback-Related Negativity* (Négativité liée au retour), ou FRN. Elle se forme aux alentours de 250 millisecondes après la perception du feedback. Ce signal est un indicateur permettant de prendre en compte l'erreur commise en adaptant sa stratégie. Dans une étude de Heldman, Rüsseler et Münte (2008), les participants devaient effectuer la même tâche que celle décrite ci-dessus (détecter une lettre cible telle que « H », dans une suite de lettres telle que « SSSHSSS »). Toutefois, contrairement au protocole précédent, les participants recevaient pour chaque essai un retour d'information du type : (i) correct et dans les temps, (ii) correct mais en retard, ou (iii) incorrect. Les participants effectuaient des séries d'essais espacées

par des pauses entre chaque série. Une onde FRN était enregistrée pour les mauvaises réponses où les participants n'avaient pas initialement perçu leur erreur (caractérisées par une absence d'ERN) ou pour les réponses correctes mais en retard. En revanche, si les participants avaient perçu leur erreur (présence d'une ERN), aucune FRN n'était enregistrée après présentation du feedback. Ces résultats suggèrent que l'onde FRN est produite par le cerveau uniquement lorsque le retour d'information contient des informations nouvelles, susceptibles donc d'induire un apprentissage par la suite. Alors que s'il s'agit d'une « erreur d'étourderie » perçue par l'individu avant même de recevoir un feedback, l'onde FRN n'est pas déclenchée, car aucune adaptation particulière n'est nécessaire.

Ces travaux indiquent que la prédiction est une activité essentielle et irrépressible et que notre cerveau apprend de ses erreurs de prédiction, qu'il les détecte par lui-même ou par un retour d'information de l'environnement : c'est ainsi que les connaissances sont mises à jour. Les mêmes systèmes neuronaux sont susceptibles de détecter ce que nous percevons comme des erreurs ou des réussites : notre cerveau détecte des écarts entre une prédiction et un retour d'information, que le feedback indique que l'on a tort alors que l'on pensait avoir raison ou à l'inverse qu'il informe d'une réussite alors que l'on anticipait une erreur.

Ces erreurs de prédiction permettent de déclencher des mécanismes d'adaptation et ainsi de réévaluer et de produire de nouvelles prédictions pour poursuivre l'apprentissage. L'apprentissage cesse lorsque l'on arrive à prédire parfaitement. Or cela n'arrive en fait jamais ; il s'agit plutôt d'un subtil équilibre à l'intérieur duquel on essaie de minimiser les erreurs. L'apprentissage repose donc sur des écarts aux attentes. Un cerveau qui ne commet aucune erreur de prédiction n'apprend pas. Ainsi, contrairement au mythe d'un enchainement de réussites qui conditionne les réussites ultérieures, l'erreur a toute sa place dans les processus d'apprentissage. Il ne semble pas abusif d'affirmer qu'un cerveau performant est un cerveau qui fait des erreurs/échoue.

QUELQUES EXEMPLES

Favoriser l'apprentissage en suscitant la surprise

Les moments d'étonnement, où il y a écart par rapport aux attentes, peuvent être vus comme des moments féconds pour apprendre. Ainsi, Stahl et Feigenson (2017) montrent que dès l'âge de 11 mois lorsqu'un évènement visuel inattendu est présenté, l'enfant est surpris – ce qui se manifeste par une plus longue durée de fixation de son regard. Leur expérience montre aussi et surtout que cette surprise permet à l'enfant d'apprendre davantage qu'en l'absence de violation de ses attentes. Dans cette étude, deux gobelets sont présentés à des enfants entre 3 et 6 ans. Sous l'un des gobelets, il y a un jeton. On montre à l'enfant ce jeton sous le gobelet. Puis dans une première condition, on inverse les gobelets sous le regard de l'enfant, ce qui conduit le jeton à changer de place ; l'évènement est donc attendu. En revanche, dans une deuxième condition, l'évènement est inattendu : sans inverser les gobelets, le jeton a changé de place ! Cette manipulation est rendue possible grâce à des trappes situées sous les gobelets que l'expérimentateur actionne par un bouton sans être vu de l'enfant. Dans chacune des deux conditions, l'expérimentateur dit à l'enfant que l'on a « bliqué le jeton ». Trois gobelets de formes et couleurs diverses sont alors présentés à l'enfant et il lui est demandé lequel il choisirait pour « bliquer de nouveau le jeton ». Les enfants qui étaient dans la condition où l'évènement est attendu, et donc où il n'y a pas eu de violation des lois de la physique, choisissent le gobelet « bliqueur » avec la même fréquence que s'ils choisissaient au hasard, ce qui laisse penser qu'ils n'ont pas appris ce qu'était « bliquer ». À l'inverse, les enfants qui étaient dans la condition où l'évènement est inattendu, celle où s'est manifestée une violation des lois de la physique, choisissent majoritairement le gobelet qui a fait disparaitre le jeton, ce qui témoigne d'une compréhension adéquate de la signification du verbe « bliquer ».

Apprendre par exploration

Si des situations où se manifestent des erreurs de prédiction favorisent l'apprentissage, faut-il, dès lors, créer des environnements pédagogiques fondés sur l'erreur et l'écart aux attentes ? Dans cette optique, Bonawitz, Shafto, Gweon, Goodman, Spelke et Schulz (2011) proposent à des enfants de 5 ans de se familiariser avec un nouveau jouet ayant plusieurs caractéristiques (musique, lumière, miroir, son). Les enfants sont répartis selon quatre situations d'apprentissage : (i) situation de pédagogie magistrale dans laquelle l'expérimentateur révèle une fonction de l'objet de façon explicite, (ii) situation accidentelle qui laisse supposer que l'expérimentateur était sur le point d'enseigner l'ensemble des fonctions de l'objet mais doit soudainement partir, (iii) situation où l'expérimentateur fait comme s'il découvrait l'objet et par inadvertance active une des propriétés de l'objet puis la réactive devant l'enfant, et (iv) une situation contrôle sans démonstration. Ensuite, l'enfant a tout loisir d'explorer l'objet. La durée d'exploration de l'objet ainsi que le nombre de fonctions découvertes sont alors recueillis. On constate que les situations où l'enfant explore le plus les différentes propriétés correspondent aux conditions où l'expérimentateur s'était interrompu ou avait fait semblant de découvrir l'objet en même temps que l'enfant. Lorsque l'expérimentateur avait montré explicitement une des fonctions du jouet, l'enfant explorait moins de fonctions et y passait moins de temps. Les auteurs concluent de cette expérience que les enfants apprennent plus rapidement une fonction expliquée lors de la situation de pédagogie magistrale mais que cet apprentissage a un prix, car ils sont moins enclins à découvrir les autres fonctions. En revanche, lorsque l'enseignant laisse ouverte la possibilité que d'autres propriétés non présentées existent, l'enfant explore davantage. Ces travaux suggèrent que l'environnement pédagogique qui crée la possibilité de tester, de faire des prédictions sur les propriétés de l'objet, est favorable aux apprentissages. À l'inverse, un enseignement explicite pourrait laisser moins de place à la possibilité d'explorer, de faire des prédictions, de faire des erreurs, et finalement

d'apprendre. La place de l'erreur dans les apprentissages est d'ailleurs l'objet de forts enjeux dans le débat « enseignement explicite » versus « enseignement par la découverte ».

Apprendre grâce au retour d'information de l'environnement

Dans une méta-analyse réalisée en 2015 par Van der Kleij, Feskens et Eggen, 40 études portant sur des environnements numériques avec feedback pour l'apprentissage de différents domaines (mathématiques, sciences sociales, espagnol, etc.) ont été analysées. Le protocole d'étude était découpé en 3 phases : une première phase de pré-test, une phase d'apprentissage avec différents types de feedback selon l'étude, et une phase de post-test identique au pré-test. Cette synthèse montre que, parmi les types de feedback prodigués, ceux qui conduisent au meilleur apprentissage sont ceux qui donnent une explication de la bonne réponse. Ils sont plus efficaces que ceux qui fournissent la bonne réponse sans explication, tandis que les feedbacks qui informent seulement de la justesse de la réponse (Succès – Erreur) se montrent les moins formateurs. À cela s'ajoute la question du délai entre la réponse et le feedback. Dans le cadre d'un apprentissage simple, peu conceptuel, un feedback immédiat est plus efficace qu'un feedback différé. Pour qu'il y ait apprentissage, la conjonction d'au moins deux conditions apparait favorable : détection de l'erreur et retour d'information le plus explicatif possible. Les résultats de cette méta-analyse soulignent que ce qui va être crucial est la possibilité de compréhension de la situation par l'élève, et que cette possibilité n'est pas « automatiquement » insufflée au cerveau en lui signalant simplement l'erreur. On peut faire l'hypothèse qu'elle résulte d'un travail d'élaboration sémantique rendu possible si les informations suffisantes ont été fournies, donnant à l'élève la possibilité de réviser son point de vue, ce que l'explicitation de la réponse juste peut permettre et plus encore son explication, par contraste avec un simple signalement de la justesse ou non de la réponse.

CONCLUSION

L'analyse des recherches fait nettement pencher la balance du côté de l'erreur comme partie intégrante des processus d'apprentissage. Le système cognitif, dès les premiers jours de la vie et tout au long de celle-ci, jauge les observations issues du monde extérieur à l'aune de prédictions qu'il réalise, afin d'ajuster au mieux ses connaissances et de s'assurer en permanence d'une adéquation satisfaisante avec l'environnement. Ainsi, l'erreur apparait comme un indicateur crucial de l'adéquation à la situation présente. Un cerveau performant est un cerveau qui fait des erreurs puis qui s'adapte. L'erreur est formatrice, et non un simple manquement par rapport à une norme. La détection par le cerveau, de manière très précoce, d'un écart aux attentes est un signal extrêmement important pour chercher à s'ajuster.

Comment s'ajuster ? Sur le plan scolaire, l'erreur est la manifestation d'un état de connaissance qu'il est utile, par le biais de l'enseignement, de faire évoluer. À l'erreur, perçue comme la manifestation d'une faute, se substitue l'erreur, indication d'un état de connaissance en évolution. L'erreur fait obstacle. Elle est formatrice dans le processus pour surmonter cet obstacle. Dans le champ des apprentissages scolaires, cela peut se traduire pour l'élève par la nécessité de comprendre différemment une consigne, un énoncé, une situation (Astolfi, 2012 ; Richard, 2004). À ce titre, l'erreur de l'élève est informative pour l'enseignant. S'intéresser à l'erreur, c'est inférer les prédictions de l'élève, et donc connaitre davantage ses hypothèses. En effet, alors que l'opposition « réussite/échec » conduit à des conceptions dichotomiques telles que « compris/incompris », « clair/confus », « cohérence/incohérence », etc., un autre niveau d'analyse est de considérer la production de l'élève, qu'elle soit conforme ou non aux attentes de l'enseignant, comme une trace observable résultant de la mise en œuvre d'un ensemble d'opérations mentales. Ainsi, un élève qui pense que si l'on

marche longtemps sur la Terre on va finir par tomber du bord de celle-ci révèle la conception d'une Terre plate, même s'il la voit ronde comme un disque (Vosniadou & Brewer, 1992). Un élève qui pense que multiplier ne rend jamais plus petit révèle la conception selon laquelle une multiplication est une addition répétée. Il aura probablement du mal à résoudre des problèmes de multiplication tels que « Combien coute 0,22 gallon d'essence à 1£27 le gallon ? », une question qui met en échec une majorité de collégiens anglais qui font à tort une division (Bell, Swan & Taylor, 1981). Un élève qui explique qu'il n'a pas voulu débarrasser la table parce qu'il l'a déjà « embarrassé ce matin » ou qui généralise à tort certaines règles sur les prétérits et participes passés de verbes en anglais révèle ses conceptions de certaines règles morphologiques. L'explicitation de ces opérations mentales révèle la cohérence des comportements, que la réponse de l'élève soit correcte ou erronée. Dès lors que l'erreur est vue non pas comme une sanction mais comme une information précieuse sur les processus mentaux en jeu chez l'élève, elle devient une alliée pour les apprentissages. Dans cette perspective, l'erreur est généralement plus informative que la réponse exacte dans la mesure où il y a souvent une multiplicité d'erreurs possibles et une seule réponse juste. Il est alors possible d'identifier les conceptions susceptibles d'engendrer les erreurs et celles-ci constituent le support d'un diagnostic sur les (mé)compréhensions des élèves, susceptibles de faire l'objet d'interventions scolaires adaptées.

L'erreur est aussi intéressante à étudier en écho au phénomène de persévération, qui conduit à l'impasse. Dépasser l'erreur, c'est être en mesure de changer de point de vue, de sortir de cette impasse. Reconsidérer la conception qui a engendré l'erreur et la faire évoluer de manière à adopter une perspective en adéquation aux attentes scolaires, c'est faire preuve de flexibilité.

7

SI JE VEUX, JE PEUX

LE MYTHE

Il n'existe pas de moyen d'injecter de la connaissance dans un esprit humain de la même manière que des informations peuvent être téléchargées dans la mémoire d'un ordinateur. L'esprit humain n'est pas cette tablette de cire vierge que l'enseignant pourrait marquer à loisir selon ce qu'il souhaite que l'élève apprenne. Contrairement au processus informatique par lequel la connaissance est transférée sous sa forme finalisée, la connaissance humaine s'acquiert progressivement, en s'appuyant sur et en transformant l'existant, en surmontant des obstacles, en interaction avec l'environnement et avec les congénères, et sous une forme qui a peu à voir avec celle des artefacts digitaux.

D'où l'importance de s'appuyer sur la psychologie de l'élève. Jean-Jacques Rousseau fut un précurseur à cet égard en exprimant que des lois internes à l'esprit de l'enfant doivent être respectées pour son éducation (« L'enfance a des manières de voir, de penser, de sentir, qui lui sont propres »). Le psychologue du développement Jean Piaget a élaboré son œuvre dans une perspective constructiviste selon laquelle des lois psychologiques régissent les possibilités d'acquisition de connaissances, progressivement, à travers l'expérience, en interaction avec un milieu. Le psychologue russe Lev Vygotski a lui aussi orienté ses travaux en ce sens, en mettant particulièrement l'accent sur les dimensions sociales impliquées dans les apprentissages. Afin de mieux comprendre les mécanismes de l'esprit pour pouvoir mieux lui enseigner, des recherches contemporaines en psychologie des apprentissages s'appuient quant à elles sur l'étude des processus de développement des fonctions cognitives : mémoire, langage, attention, raisonnement, etc.

D'où aussi les didactiques, orientées selon la perspective des savoirs à acquérir, qui, même si elles ont pris leur essor dans les années 1970,

ont des racines bien plus anciennes dans la lignée du philosophe pédagogue tchèque Comenius : didactique des mathématiques, des sciences physiques, des sciences naturelles, de la chimie, du français, des langues secondes, de l'histoire, de la géographie, de la musique, des arts graphiques, du sport, etc. Il s'agit d'élaborer discipline par discipline la manière la plus appropriée de transmettre des contenus de connaissance à un esprit humain, avec progressivité. Cela constitue un programme vertigineux car chaque sous-composante de chaque discipline est potentiellement concernée : didactique de la géométrie, de l'algèbre, de l'analyse, de la grammaire, de l'orthographe, etc., et jusqu'à chaque notion : par exemple celle de soustraction, de fraction, de proportionnalité, etc.

On pressent se profiler un travail d'orfèvre, où prise en compte des lois psychologiques de l'élève et didactique de la discipline concernée se croiseraient sans cesse pour favoriser les acquisitions de connaissances. Chaque enseignant pourrait légitimement se sentir démuni devant une telle mission car les champs de la psychologie du développement et des didactiques sont si vastes qu'ils sont forcément étudiés de manière parcellaire durant la formation aux métiers de l'enseignement. Attendre d'un enseignant cette omnicompétence n'est pas plus réaliste que d'exiger d'un médecin généraliste qu'il soit à la pointe de toutes les spécialités médicales.

Une telle complexité suscite certainement l'envie d'approches globales évitant de se plonger pour chaque matière et chaque notion du programme dans ce travail minutieux. Alors existerait-il des raccourcis transversaux permettant de faire au moins partiellement l'impasse sur le travail d'orfèvre précité ? Le sens commun voit deux principaux candidats pour atténuer la nécessité de cette plongée dans les rouages intimes du savoir et des lois psychologiques : l'intelligence et la motivation.

Auréolée d'une réputation quelque peu sulfureuse, la première est vue comme largement inégalitaire et fruit d'un privilège : qu'on la considère comme innée ou comme le produit du milieu dans lequel l'élève a grandi, elle est génératrice d'inégalités dans la classe. En effet, elle crée une forme de hiérarchie perçue comme injuste car

tributaire des origines de l'élève ou des influences auxquelles il a été soumis dans son environnement extrascolaire. Ainsi, l'intelligence est perçue comme un facteur extérieur à la classe, hors du champ d'action de l'enseignant, qui peut alors se sentir quelque peu impuissant face à ces élèves qui pour les uns « captent » immédiatement, tandis que d'autres restent « bloqués ».

En revanche, la motivation apparait sujette aux louanges. Elle semble beaucoup plus accessible et beaucoup plus démocratique, car le sens commun ne lui attribue ni une origine génétique ni une origine environnementale. Elle serait à la portée de tous, relèverait de la responsabilité de chacun et pourrait être suscitée par l'enseignant. Ainsi l'élève « qui en veut » parait le pendant démocratique voire méritocratique de celui « qui a des facilités ». Dans l'imaginaire collectif, chacun recèlerait un fort potentiel de motivation. Et une forte motivation semble être un atout d'envergure. On croirait même volontiers qu'aucun défi ne saurait résister à une motivation suffisante. « *Yes you can* », « *Yes we can* », slogans publicitaires et politiques se rejoignent dans ce puissant moteur qui vante l'effort et l'esprit de responsabilité : se donner un but, se donner à fond, s'y adonner, c'est la réussite assurée, et méritée, au bout du chemin. Le titre de ce chapitre est d'ailleurs une traduction quasiment littérale de l'expression idiomatique anglais « Where there's a will, there's a way. » Cette conception a des racines anciennes, comme en témoigne la locution latine *Si vis potes*, qui ne veut pas dire autre chose que « *Si tu veux, tu peux* ».

Le mythe nous dit donc que la motivation serait une espèce de carburant magique pour l'esprit des élèves, qui décuplerait leur capacité à apprendre. Rien ne résisterait à l'élève mené vers le succès par la motivation. On pourrait ainsi décliner l'adage de Thomas Edison « Le succès, c'est 1 % d'inspiration et 99 % de transpiration » en remplaçant « transpiration » par « motivation ». Si la motivation était un levier de réussite si puissant, les conséquences pour l'éducation seraient majeures, car l'enseignant pourrait revoir une grande part de son activité à cette aune. La manière d'introduire les contenus propres à telle ou telle discipline serait guidée par les

incitations motivationnelles qu'elle porte plutôt que par le contenu informationnel proprement dit, et il deviendrait loisible d'adapter à la classe des méthodes d'accompagnement pour motiver les élèves, le reste découlant quasi inéluctablement du décuplement de capacité induit par cette motivation. Est-il si évident que le vouloir donne le pouvoir ? Avant de troquer son manuel scolaire pour le guide du parfait petit motivateur, nous proposons de nous intéresser à ce qu'ont conclu les recherches sur cette question.

QU'EN DIT LA RECHERCHE ?

La motivation, une notion multidimensionnelle

Une définition classiquement acceptée veut que l'on se réfère à la notion de motivation « afin de décrire les forces internes et/ou externes produisant le déclenchement, la direction, l'intensité et la persistance du comportement » (Vallerand & Thill, 1993). Ainsi, même si la motivation est intuitivement perçue comme un concept unitaire, les principales théories actuelles la considèrent comme multidimensionnelle. C'est le cas de l'approche de Bandura (1986), qui exprime la part importante donnée au sentiment d'efficacité personnelle. C'est également le cas de la théorie de l'autodétermination, ou TAD, qui est sans doute la plus reconnue dans le champ des recherches expérimentales récentes (Ryan & Deci, 2000). La TAD est centrée sur le degré d'autonomie auquel un individu agit pour atteindre un certain objectif. En particulier, elle distingue la motivation intrinsèque de la motivation extrinsèque, et de l'amotivation, qui décrit les actions accomplies par un individu sans intentions ni intérêts qui lui sont propres.

La motivation intrinsèque est considérée comme la marque de la motivation autonome. Une personne accomplit alors une action sans rechercher d'autre récompense que le succès de cette réalisation. Elle

se perçoit comme l'agent à l'origine de son comportement. La motivation extrinsèque prend quant à elle différentes formes selon le degré d'autonomie de celui qui réalise l'action. Les formes de motivation extrinsèque sont les suivantes :
-*externe* lorsque la récompense est dissociée de l'action entreprise et constitue l'objectif réel de l'individu ;
-*introjectée* lorsque la personne concernée s'impose d'atteindre un objectif, sans pour autant l'avoir totalement accepté ; c'est le cas lorsqu'elle cherche à éviter la honte ou la culpabilité ;
-*identifiée* lorsque l'individu perçoit du mérite et de l'importance à la réalisation d'une action ;
-*intégrée* lorsque le mérite et l'importance de l'action sont parties prenantes de sa régulation.

Ces deux dernières formes sont régulièrement regroupées dans les travaux expérimentaux car elles sont difficiles à distinguer empiriquement. En outre, le cas des actions amotivées est envisagé dans le cadre de la TAD. Il s'agit d'actions accomplies par un individu sans intentions ni intérêts qui lui sont propres.

La récompense motive-t-elle ?

Les travaux en neurosciences qui s'intéressent à la motivation ont étudié la manière dont les régions du cerveau réagissent à la récompense. Dans une étude de Schmidt, Lebreton, Cléry-Melin, Daunizeau et Pessiglione (2012), les participants devaient indiquer de quel côté de l'écran se situait un stimulus obéissant à une certaine règle. Pour cela, ils devaient serrer une pince avec la main située du même côté. Le participant serrant la pince du bon côté obtenait un gain monétaire en récompense. Le montant de cette récompense variait selon les conditions expérimentales (1 centime, 10 centimes ou 1 €). Les résultats ont montré que plus la récompense était élevée, meilleures étaient les performances. La mise en lien de ces résultats avec des mesures d'imagerie cérébrale a montré une activation des régions du cerveau associées à la motivation durant la réalisation de la tâche. Selon les auteurs, lorsque les régions du cerveau qui

réagissent à la récompense étaient activées, les zones associées au comportement visé – le cortex moteur nécessaire pour serrer la pince et les régions préfrontales associées à la prise de décision préalable à cette action – se trouvaient davantage activées qu'en l'absence d'activation des régions associées à la récompense. Cela pourrait suggérer que plus une personne est motivée par une récompense, plus elle est disposée à faire un effort – physique ou mental – pour réussir cette tâche, car les régions associées à la motivation stimuleraient à leur tour les régions du cerveau impliquées dans les dimensions cognitives et motrices de l'exécution de la tâche. Dans une interprétation radicale du phénomène, il en découlerait qu'il suffit d'introduire des récompenses à l'école, voire, selon d'autres recherches sur ces questions, de faire miroiter une récompense, pour favoriser l'apprentissage des élèves. Ce dernier cas de figure favoriserait la libération de dopamine, un neurotransmetteur procurant une sensation de plaisir, rendant efficace la simple anticipation de récompense. Mais même si cela avait été le cas, nous aurions simplement contourné la question de la part jouée par la motivation et nous nous serions cantonnés à l'étude de la manière dont la performance est renforcée par la récompense (ou sa simple anticipation).

Les liens complexes de la motivation à la réussite scolaire ?

Des travaux ont cherché à comprendre plus précisément comment les différentes formes de motivation ont un impact sur la réussite scolaire. À cette fin, Taylor et ses collaborateurs (2014) ont conduit une méta-analyse à partir de 18 études expérimentales s'inscrivant dans le cadre de la TAD. Ces études comportaient des mesures de motivation et de réussite scolaire ainsi que des corrélations entre ces mesures. Il en est ressorti que la motivation intrinsèque et la motivation identifiée/intégrée (formes les plus autonomes de motivation extrinsèque) étaient les plus positivement corrélées avec la réussite scolaire – autrement dit plus le score de motivation était élevé, plus la réussite scolaire l'était. En revanche, les motivations

introjectée et externe étaient faiblement, et négativement, corrélées avec la réussite scolaire. Mais surtout, de toutes les corrélations, celle, négative, entre l'amotivation et la réussite scolaire était la plus marquée, conduisant à penser que le lien est encore plus fort entre amotivation et mauvaises performances scolaires qu'entre motivation intrinsèque (et/ou identifiée/intégrée) et performances scolaires élevées.

Dans cette méta-analyse, les auteurs soulignent une variabilité des liens entre les formes de motivation et les performances scolaires selon l'âge des élèves. La motivation intrinsèque et l'amotivation sont liées aux performances scolaires de manière plus marquée parmi les lycéens que parmi les étudiants à l'université, alors que la motivation identifiée/intégrée est la plus fortement corrélée avec les performances scolaires à l'école primaire. Ces résultats sont toutefois à relativiser car ils portent sur peu d'études. Une autre limite notée par les auteurs est que les études qui portent sur le lien entre motivation et performance scolaire ne prennent pas en compte la réussite initiale des élèves. Cette omission est pourtant susceptible de fortement biaiser l'interprétation des résultats. Pourquoi est-ce potentiellement problématique ? Si une motivation intrinsèque élevée ainsi que des performances scolaires élevées sont observées en début et en fin d'année scolaire, la forte corrélation positive confortera l'intuition selon laquelle plus on est motivé, mieux on réussit. Pourtant, cette configuration ne donne pas la possibilité de conclure que la motivation intrinsèque élevée est à la source de la réussite de l'élève. Les explications des corrélations issues du sens commun sont souvent trompeuses, et il ne faut pas oublier de considérer des explications alternatives. Sur la foi des corrélations, on pourrait tout aussi bien défendre l'idée que la réussite scolaire provoque de la motivation. Si tel était le cas, ce serait en soi une information intéressante, mais qui ne donnerait guère de clé pour favoriser la réussite des élèves. Pour pouvoir attribuer à la motivation une part de la réussite, il faudrait prendre en compte les performances scolaires en début d'année. En effet, rien n'exclut que de bonnes performances scolaires à cette période suffisent pour

prédire les bons résultats de fin d'année, sans que la motivation y joue un rôle particulier, en dehors du fait que les élèves les plus performants sont généralement aussi les plus motivés. Certains travaux ont donc cherché à isoler l'influence propre de la motivation afin d'évaluer si elle constitue ou non une véritable contribution à la réussite des élèves.

QUELQUES EXEMPLES

Les entraves de l'amotivation

Les liens entre performances initiales, motivation et réussite scolaire ont fait l'objet d'une étude menée par Leroy et Bressoux en 2016. En raison de travaux antérieurs montrant une décroissance progressive de la motivation de l'école élémentaire jusqu'au lycée, leur étude a été menée auprès d'élèves de sixième, période scolaire réputée particulièrement sensible au déclin motivationnel. Par contraste avec les travaux centrés sur la recherche de liens entre motivation intrinsèque ou extrinsèque et performances scolaires, Leroy et Bressoux ont voulu discriminer le rôle de la motivation de celui de l'amotivation. En effet, l'amotivation a essentiellement été traitée comme un précurseur de l'ennui ou comme la manifestation d'un manque d'effort, et rarement comme un possible prédicteur de la réussite ou de l'échec scolaire. Dans cette recherche, l'amotivation a été considérée comme une construction unidimensionnelle assimilable à une absence générale de motivation, qui ne se limite donc pas à un simple rejet d'effectuer la tâche.

Leroy et Bressoux se sont centrés sur les liens entre les différentes formes de motivation et les performances en mathématiques, un domaine réputé particulièrement sensible à la motivation des élèves (Pintrich, Wolters, & De Groot, 1995). Les chercheurs ont administré des questionnaires de mesure de motivation et de niveau en

mathématiques. Un même questionnaire de motivation a été administré à quatre moments de l'année. Concernant les mathématiques, les chercheurs se sont appuyés sur les évaluations nationales en début d'année scolaire et sur un test construit pour cette étude en fin d'année. Au total, les analyses portent sur les données complètes de 874 élèves.

Le questionnaire de motivation comportait des questions relatives à différents comportements scolaires : « Pourquoi est-ce que je fais mes devoirs en mathématiques ? », « Pourquoi est-ce que je travaille en mathématiques ? », « Pourquoi est-ce que j'essaie de répondre aux questions difficiles en mathématiques ? », « Pourquoi est-ce que j'essaye de bien réussir en mathématiques ? ». Les réponses proposées reflétaient à chaque fois une composante motivationnelle particulière : par exemple « parce que je me sentirais mal si je ne faisais pas un bon travail » reflétait la motivation introjectée, alors que la réponse « sincèrement je ne sais pas pourquoi je fais mes devoirs, j'ai l'impression de perdre mon temps en les faisant » reflétait l'amotivation.

L'analyse des réponses a été menée en faisant appel à des modèles statistiques permettant d'étudier les performances des élèves en fonction de leurs performances initiales et de leur évolution sur le plan des différentes composantes de la motivation. Les auteurs ont observé un déclin de toutes les formes de motivation et un accroissement parallèle de l'amotivation au long de l'année scolaire. Lorsque les chercheurs ont, comme dans la plupart des études, analysé l'impact des principales formes de motivation sur les performances scolaires, la présence des corrélations classiquement observées a été confirmée : lorsque la motivation identifiée ou intégrée augmente au cours de l'année, les performances en fin d'année sont meilleures. En revanche, lorsque l'influence des compétences initiales était neutralisée, il s'est avéré qu'aucune des composantes précédemment identifiées comme corrélées avec la réussite ne permettait plus de prédire les performances scolaires à la fin de l'année : seule l'amotivation et son évolution étaient corrélées, négativement, avec les performances à la fin de l'année scolaire. Plus

précisément, les observations faites par Leroy et Bressoux montraient que plus l'amotivation était élevée au début de l'année scolaire, moins bonnes étaient les performances en mathématiques à la fin de l'année. En outre, plus l'amotivation croissait rapidement, moins bonnes étaient les performances à la fin de l'année.

Ainsi, cette étude a conduit à conclure que ni la motivation intrinsèque ni la motivation extrinsèque ne sont directement liées aux performances scolaires. Ce qui, en revanche, influence négativement les performances, c'est l'amotivation. Les auteurs soulignent que les élèves amotivés ont tendance à interpréter leurs échecs comme un manque de compétences personnelles, ce qui manifeste un manque de confiance en leur capacité à entreprendre des actions afin de surmonter les difficultés rencontrées. Cette proposition est appuyée par les résultats d'études précédentes, notamment celle de Legault, Green-Demers et Pelletier (2006) qui ont cherché à comprendre quels sont les facteurs qui contribuent à l'amotivation des lycéens. Les auteurs ont observé une corrélation négative de l'amotivation avec l'estime de soi quant aux performances scolaires : il apparait ainsi que l'amotivation est d'autant plus importante que l'estime de soi est faible.

Les auteurs concluent que les élèves amotivés sont moins capables de faire face aux difficultés qu'ils rencontrent. Ils expliquent que leur manque de motivation peut être lié au fait qu'ils pensent ne pas avoir les capacités nécessaires. Cela signifierait que les étudiants qui ne se perçoivent pas comme habiles ou comme aptes à faire des efforts sont les plus susceptibles d'avoir de faibles performances scolaires. Toutefois, les facteurs de l'amotivation restent encore peu explorés et il s'agit d'un enjeu de recherche important que de tenter de diminuer l'importance de ce facteur de vulnérabilité. Des progrès dans ce domaine aideraient les enseignants à apporter un soutien adéquat aux élèves les plus susceptibles de devenir amotivés.

CONCLUSION

La formule « si je veux, je peux », ou encore « la motivation accroit les performances scolaires », n'est pas directement étayée par les recherches parce que la présence concomitante de performances élevées et de motivation n'est pas synonyme de causalité. En revanche, il semble établi que « si je suis résigné, j'échoue », ou encore que « l'amotivation est délétère pour les performances scolaires ». Ce passage de la marque du féminin dans un article *(« la »)* à celle d'un privatif dans un nom (*a*motivation) conduit à sensiblement modifier le mythe. Un sentiment de non-sens profond, assimilable à un manque d'intérêt global, à une résignation et à une impression d'absurdité généralisée, est facteur d'échec scolaire. Leroy et Bressoux (2016) notent que les élèves amotivés ne sont pas forcément ceux qui ont le moins de compétences, et donc que si l'amotivation est endiguée, la voie est ouverte au progrès scolaire. Comment faire reculer l'amotivation ? Les travaux sur *l'engagement actif* des élèves dans les apprentissages (Reeve, 2013) fournissent notamment des pistes. L'engagement actif se manifeste sur le plan comportemental, cognitif et agentique (sentiment de capacité d'action). Il renvoie à l'implication de l'élève sur le plan de l'attention, de l'effort et de la persévérance et se manifeste par l'emploi de stratégies d'apprentissage sophistiquées plutôt que superficielles. L'engagement actif est également associé à la présence d'émotions positives, comme l'intérêt, et à l'absence d'émotions négatives, comme l'anxiété. Il se caractérise aussi par une contribution active des élèves face aux interventions des enseignants, notamment en posant des questions, en indiquant ce qu'ils ne comprennent pas, en précisant ce qu'ils trouvent intéressant ou non. Individuellement comme collectivement, ces formes d'engagement sont des prédicteurs importants du progrès scolaire.

Toutefois, il est toujours question d'une contribution au progrès des

élèves et non d'un substitut aux autres sources de progrès plus directement liées aux contenus propres à enseigner. Ainsi, les approches transversales aux disciplines scolaires, comme celles qui promeuvent l'engagement actif, et celles qui sont centrées sur les contenus de connaissances à acquérir dans une discipline donnée, ont toute raison de s'articuler entre elles. Dans cette perspective, certains cadres théoriques, comme celui de Shulman (1986), centré sur la notion de *pedagogical content knowledge* (connaissances pédagogiques liées au contenu) dont les retombées restent nombreuses et actuelles, tentent de dessiner la manière dont la formation professionnelle des enseignants pourrait faire face à cet enjeu. Plus largement, le champ des travaux en pleine expansion sur la cognition de l'enseignant est concerné. Dépassant l'idée d'une simple transmission de connaissances disciplinaires, ce cadre préconise de se focaliser sur les représentations que les élèves ont du contenu et de favoriser l'évolution de leurs représentations. Il s'agit d'une voie potentielle pour limiter l'amotivation et contribuer à un engagement actif dans les apprentissages, qui rejoint les travaux soulignant l'efficacité d'un enseignement structuré qui encourage l'autonomie des élèves (Vansteenkiste *et al.*, 2012). Cette forme d'enseignement repose sur des indications claires quant aux objectifs de l'enseignement et favorise le développement des compétences des élèves par l'adoption de perspectives qui leur sont propres. De telles orientations constituent des défis d'envergure pour la formation des enseignants, auxquels il n'est concevable de faire face que dans une perspective d'alliance entre recherche, formation et enseignement.

8

AU CONTACT
DES ÉCRANS,
NOTRE CERVEAU
ET NOTRE FAÇON
D'APPRENDRE
SE TRANSFORMENT

LE MYTHE

Révolution numérique, fracture numérique, civilisation du tout numérique, *homo numericus*, ère numérique, génération numérique, dématérialisation, mondes virtuels… les expressions foisonnent pour marquer le changement radical de société provoqué par les technologies informatiques et par Internet. Des pans entiers du monde professionnel se sont métamorphosés si bien qu'il devient difficile d'imaginer le quotidien de nombreux métiers dans leur version pré-Internet. Des individus de multiples cultures font face, parfois dès leur plus jeune âge et plusieurs heures par jours, à des écrans de natures diverses. Qu'induit chez l'humain une révolution aussi brutale que puissante ? Les cerveaux de la génération Y, dénomination consacrée de la première génération des « natifs du digital », et ceux de la génération Z, qui lui succèdent maintenant, sont-ils câblés différemment de ceux des générations précédentes ? Fonctionnent-ils avec le même logiciel mental que leurs aïeux ? S'alimentent-ils des mêmes données ?

« Être câblé différemment », « fonctionner avec le même logiciel » « s'alimenter de données » : ces métaphores technologiques pointent deux grands mythes relatifs au triptyque « *digital, neurosciences, éducation* ». Le premier a trait au « hardware », au « câblage » proprement dit des générations biberonnées aux écrans. D'après l'étude PELLEAS en 2014, les adolescents parisiens issus de ménages plutôt favorisés avaient à portée de main, en moyenne, onze écrans au total (Obradovic *et al.*, 2014). Du fait de ce changement massif des usages des enfants, le mythe suivant s'est ainsi créé : la consommation intense, tant passive qu'active, de toute sorte d'écrans – télévision, ordinateur, smartphone, tablette, console de jeu… – induit une modification des circuits cérébraux qui fait qu'un cerveau « digitalisé » n'est pas tout à fait le même que celui des générations qui l'ont précédé. Si son cerveau est différent, un *homo*

numericus apprend-il comme un homo *sapiens sapiens* ? Une éducation adaptée à ce changement de la structure même de notre organe de la pensée est-elle alors nécessaire ?

Le deuxième mythe a trait cette fois à la manière dont les écrans – l'informatique connectée – peuvent modifier le « rendement éducationnel » du cerveau des élèves. Jusqu'à présent, aucune génération n'a rencontré la possibilité de disposer de toutes ces connaissances à portée de main : il s'agit de la possibilité inédite pour les élèves d'explorer jusqu'à plus soif le web, cet « Eldorado de la connaissance » où « il n'y a qu'à se pencher pour ramasser ». Il s'agit également de la possibilité d'introduire à l'école des programmes informatiques conçus spécialement pour favoriser tel ou tel apprentissage. Le mythe dit que ces nouveaux médias fondés sur les technologies permettent de décupler des capacités cérébrales qui auraient été laissées en jachère par les pédagogies artisanales de l'époque prénumérique. Puisque les savoirs sont à portée de clic, doivent-ils toujours être enseignés ? Ne faudrait-il pas revoir l'éducation de fond en comble, jusque dans ses objectifs, afin d'enseigner des aptitudes plus en phase avec une société connectée ?

Les mythes associés à la triade « *digital, neurosciences, éducation* » disent donc deux choses distinctes. D'une part, ils disent que l'ampleur du choc de civilisation induit par le numérique transforme le cerveau dans son fonctionnement même, voire dans sa structure ou son organisation. D'autre part, ils disent que la gigantesque mémoire externe que constitue Internet bouleverse le développement de celle des élèves en mettant les connaissances à disposition de tout un chacun.

Les augures vont bon train dans ces débats. Un optimisme inoxydable semble porter certains, tel le philosophe Michel Serres qui, dans *Petite Poucette,* décrit un humain de demain ayant délégué les tâches subalternes à l'ordinateur pour atteindre enfin l'élévation dont il a été privé jusqu'à présent. Ainsi, selon Michel Serres, l'externalisation et la mise à disposition des savoirs, associées à l'allègement des procédures de recherche et de stockage de

l'information, vont initier un savoir démocratisé, une créativité libérée, et constituer les germes d'un nouvel être humain : « Entre nos mains, la boite-ordinateur contient et fait fonctionner [...] ce que nous appelions jadis nos "facultés" : une mémoire, plus puissante mille fois que la nôtre [...] une raison aussi, puisque autant de logiciels peuvent résoudre cent problèmes que nous n'aurions pas résolus seuls [...] Notre tête est jetée devant nous, en cette boite cognitive objectivée [...] Voici le savoir jeté là, objectif, collecté, collectif, connecté [...] Que reste-t-il sur nos épaules ? L'intuition novatrice et vivace [...] Sommes-nous condamnés à devenir intelligents ? » D'autres se font plutôt les chantres de l'aliénation. Cette fois, le phénomène numérique s'avère porteur de nombreux maux potentiels, laissant augurer une pauvreté éducative liée à une dégradation du fonctionnement de notre cerveau. Ainsi, Nicholas Carr, dans son essai *The Shallows*, pointe du doigt l'influence délétère du numérique : traitements superficiels de l'information, baisse de concentration, affaiblissement des capacités de mémorisation, perte d'intentionnalité, addiction, seraient autant de conséquences de l'immersion dans le numérique : « Le [...] fonctionnement de mon cerveau semblait changer [...] mon incapacité à garder mon attention [...] plus de deux minutes [...] je me rendis compte que mon esprit n'était pas seulement à la dérive. Il avait faim [du] Net [...] et plus il était nourri plus il avait faim [...] [Dans ce] cercle vicieux qui ne cesse de se renforcer, nous sommes forcés de compter de plus en plus sur la mémoire artificielle du web [...] même si elle fait de nous des penseurs plus superficiels ».

QU'EN DIT LA RECHERCHE ?

Un cerveau digitalisé ?

Le psychiatre Serge Tisseron a proposé une règle simple, le « 3, 6, 9, 12 » : pas de télévision avant 3 ans, pas de console de jeux avant 6 ans, pas d'Internet avant 9 ans et découverte encadrée jusqu'à 12

ans. Parallèlement de nombreux pédiatres tirent la sonnette d'alarme, considérant que certains bébés sont surexposés aux écrans de manière préoccupante (Tribune du *Monde* du 31/05/2017). Sur la base des recherches sur le cerveau, quels fondements donner à ces prises de position ? Est-il concevable que celui-ci se modifie radicalement sous l'effet de la consommation d'écrans ? Des travaux de neurosciences ont mis en évidence sa plasticité dans la mesure où il s'adapte en fonction de nos expériences et de nos apprentissages. C'est notamment le cas lors de l'apprentissage de la lecture. Le cerveau de l'enfant qui apprend à lire se modifie de manière particulière : une partie de la zone utilisée jusqu'alors pour reconnaitre les visages et les objets se trouve recyclée pour reconnaitre les mots (Dehaene & Cohen, 2011). Sous l'effet de l'apprentissage, notre cerveau se montre capable de se modifier, de recycler des réseaux de neurones pour d'autres tâches. Dès lors, les écrans pourraient-ils avoir le même effet ? Nos structures cérébrales se voient-elles modifiées par l'exposition – qu'on qualifierait alors de surexposition – aux écrans ? La théorie du recyclage neuronal est plus nuancée. Selon cette dernière, ce n'est en fait pas notre cerveau qui est modifié par les usages culturels, mais la culture dont l'évolution serait contrainte de manière à ce qu'elle puisse toujours être appréhendée par le cerveau. Ainsi, les différents systèmes d'écriture ont pour traits communs des signes que le cerveau peut facilement être entrainé à interpréter.

Les modifications ponctuelles observées, comme lors de l'apprentissage de la lecture, ne changent pas le fait que nos structures cérébrales sont stables depuis des dizaines de milliers d'années. Le temps de l'évolution biologique n'est pas celui des technologies et il semble que la vision d'un cerveau reconfiguré en profondeur dans sa structure même par l'exposition aux écrans, soit sans fondement : les recherches qui ont investigué la possibilité d'une influence de l'usage du numérique sur les structures cérébrales n'ont rien trouvé de marquant. Ainsi, Small et ses collaborateurs (2009) ont exploré l'activité cérébrale d'adultes de plus de cinquante ans, ayant donc grandi durant la période prédigitale, par une étude

en imagerie cérébrale par résonance magnétique. Aucune différence notable n'a été trouvée entre le groupe qui découvrait Internet et celui de ses usagers fréquents. Les aires impliquées dans le langage, la mémoire et la lecture s'activaient de la même façon pour des habitués ou non du digital. Et entre les enfants exposés aux écrans et les adultes de la génération antérieure ? Certaines différences existent entre le cerveau d'un adulte et celui d'un enfant, mais depuis toujours et sans lien avec le digital. Le cerveau d'un enfant se développe avec un rythme de maturation différent selon les régions (*cf.* dans cet ouvrage le chapitre « Tout se joue avant 1/2/3/4/5/6/7/8 ans »). Aucune étude ne met en évidence de différences entre les cerveaux des enfants d'aujourd'hui et ceux des générations précédentes.

Si le mythe de cerveaux mutants pour les générations digitales est si prégnant, c'est certainement parce que le digital a considérablement modifié notre façon de nous informer, de travailler, de nous instruire. Au cours de l'histoire, les technologies de lecture ont évolué en passant par l'argile, les rouleaux, le livre imprimé jusqu'aux textes sur écrans, en s'adaptant toujours à la spécificité de notre cerveau, qui est certes plastique et adaptable mais pas de façon illimitée. Alors, comment traite-t-on les informations sur écran ? Nous comportons-nous différemment selon le support de lecture ? Tout d'abord, la lecture sur écran ou celle sur papier activent toutes deux les zones cérébrales... de la lecture. Mais notre usage est différent : notre lecture sur écran est moins linéaire et davantage sélective que la lecture sur papier. Sur une page Internet, nous sommes à la recherche d'information, du lien sur lequel cliquer, de la bannière publicitaire à éviter. Lire sur écran exigerait donc plus de prises de décision et solliciterait dès lors davantage d'aires cérébrales que la lecture sur papier qui, elle, est linéaire. En termes d'activations cérébrales, lire sur un écran serait donc aussi une expérience plus diversifiée.

La question de la fatigue induite par la lecture sur écran est également documentée. Ainsi, dans une étude de Benedetto et de ses collaborateurs (2013), des participants ont effectué trois séances de lecture d'un roman durant environ 70 minutes, chacune sur un

support différent : papier, écran LCD, écran e-ink. Trois mesures étaient réalisées pour déterminer la fatigue visuelle : questionnaire, mesure de clignement des yeux et mesure de fréquence de fusion critique visuelle (FFC). Cette dernière mesure, classique dans les travaux cherchant à mesurer un état de fatigue, porte sur le nombre d'éclairements par seconde minimum pour que la présentation d'un stimulus visuel discontinu donne la sensation visuelle à la personne d'être continu. Même si les participants disent ressentir une plus grande fatigue visuelle après lecture sur écran, cela n'est pas corroboré par les calculs de FFC. Ainsi, quand on teste la fatigue d'individus devant lire sur écran ou sur papier, les indices physiologiques ne s'avèrent pas différents. La seule spécificité concerne le clignement des yeux avec l'écran LCD : les participants clignent moins souvent des yeux, ce qui pourrait entrainer une sécheresse oculaire au cours de la lecture lorsque celle-ci est longue. Il est à noter que certains travaux (Kretzschmar *et al.*, 2013) ont montré que la compréhension n'est pas détériorée même si un sentiment subjectif d'inconfort est éprouvé.

La mémoire de l'*homo numericus* diffère-t-elle de celle de l'*homo sapiens sapiens* ?

Un versant négatif de la lecture sur écran serait que l'on mémorise moins bien les informations sur Internet. Pourquoi ? L'hypothèse avancée est que le fait même de savoir que l'information reste accessible nuit à sa mémorisation. Une étude de Sparrow publiée dans la revue *Science* en 2011 a ainsi mis en évidence le « *Google effect* ». Dans cette recherche, les participants devaient lire sur écran des faits susceptibles d'être trouvés sur Internet (par exemple, « L'explosion de la navette Columbia a eu lieu en février 2003 »). Les participants devaient ensuite écrire chaque fait dans un fichier sur l'ordinateur. À la moitié des participants, les expérimentateurs disaient que le fichier allait être supprimé et à l'autre moitié qu'il allait être conservé. Après avoir consigné les faits dans l'ordinateur, les participants devaient écrire le maximum de faits dont ils se

souvenaient. Suite aux résultats, les auteurs ont alors parlé du « *Google effect* » car lorsque que l'on annonce que le fichier dans lequel les informations ont été écrites sera effacé, la mémorisation est 50 % plus élevée que lorsque l'on annonce que le fichier sera enregistré sur l'ordinateur. Les participants mémorisent donc mieux lorsqu'ils pensent qu'ils ne pourront plus accéder à l'information. Ils semble donc que lorsque l'on sait qu'une information est accessible sur Internet, on la retient moins bien. Toutefois, une limite de l'expérience est de ne pas avoir comparé avec un groupe qui recherchait une information sur support papier. Est-ce le fait de savoir que l'on peut retrouver l'information sur Internet qui est déterminant pour ne pas mémoriser ou tout simplement le fait de savoir que l'information se trouve quelque part où elle peut être consultée ?

Dans tous les cas, il n'y a pas d'indications que la lecture sur écran va modifier les structures cérébrales de la mémoire. Un lecteur fera peut-être moins d'efforts pour stocker l'information, mais cela ne suffit pas à dire qu'il est moins capable de mémoriser. Alors que le mythe dit que la lecture sur écran est néfaste à la mémorisation, la conclusion est plutôt que le fait de savoir qu'une information reste accessible diminue la tendance à la mémoriser. Ceci peut d'ailleurs être considéré comme un comportement adaptatif, à plus forte raison dans des contextes de « surinformation ». L'enjeu éducatif n'est toutefois pas neutre car la mémorisation est loin de se restreindre à un stockage passif d'information. La nature des traitements cognitifs qui conduisent à cette mémorisation peut avoir un rôle essentiel dans la compréhension de ces informations. C'est donc un enjeu important d'envisager certains apprentissages scolaires dans cette perspective, car si les élèves considèrent qu'il n'est pas nécessaire d'apprendre ce qui est aisément accessible sur Internet, les conséquences sont problématiques même si la chaine causale est un peu plus complexe que ce que laisse croire le mythe.

Un *homo numericus* multitâche ?

Un autre aspect du mythe de l'e-apprenant concerne la faculté à être multitâche. Tout le monde a eu l'expérience d'être face à un écran et de faire plusieurs autres choses parallèlement (écouter de la musique, répondre à des textos, tenir une conversation, etc.). Est-ce une capacité nouvelle ? L'immersion numérique nous rend-elle multitâches ? L'expression de « *media-multitasking* » est née pour désigner ce phénomène loin d'être marginal, car près du tiers du temps passé avec des technologies numériques le serait à utiliser simultanément différentes formes de média. Une compétence particulière s'est-elle développée dans ce « *multitasking* » ? La question se pose de savoir ce qui se passe dans notre cerveau dans des situations multitâches.

Des travaux défendent l'idée que nos ressources attentionnelles sont extrêmement limitées et que notre attention ne peut pas être portée sur deux tâches en même temps. Il y aurait un « goulot d'étranglement » (Pashler, 1994) conduisant à traiter les informations successivement – et non de façon simultanée –, ce qui est couteux car le délai nécessaire pour passer d'une tâche à une autre serait tout de même de l'ordre de quelques centaines de millisecondes. Cela induit un cout de transition (« *switching* ») d'une activité à une autre. On mesure également que le cout cognitif du *multitasking* – il s'agit donc en réalité de « *task-switching* » – est important car différentes zones cérébrales sont activées, comme cela a été montré dans une étude de Szameitat et collaborateurs (2016). Dans cette étude, les participants devaient réaliser deux tâches simultanément : appuyer sur un bouton avec l'index gauche lorsqu'ils entendaient un son (« yaya » ou « haha ») et appuyer sur un autre bouton avec l'index droit s'ils voyaient apparaitre à l'écran un visage.

On imaginerait toutefois volontiers que le digital nous ait rendu plus efficaces, renforçant nos capacités de *multitasking*. En laboratoire, les expériences sur le sujet reposent sur la réalisation de deux tâches en parallèle par des participants. Par exemple, une lettre ou un chiffre leur sont présentés. Lorsqu'ils voient une lettre, ils doivent indiquer si c'est une voyelle ou une consonne. Lorsqu'ils voient un chiffre, ils doivent indiquer s'il est pair ou impair. Ce type de tâche a été

proposé à des individus qui disaient beaucoup pratiquer de *media-multitasking* et à d'autres qui disaient peu le pratiquer. En fait, les plus grands pratiquants du *media-multitasking* se sont avérés être les moins performants tout en se jugeant experts dans n'importe quelle tâche de *multitasking* (Cardoso-Leite, Green & Bavelier, 2015). Notre jugement sur nos propres capacités en matière de *multitasking* semble donc être peu fiable. Grâce au digital, l'*homo numericus* apprécie et pratique donc davantage de *multitasking* sans pour autant devenir plus performant.

QUELQUES EXEMPLES

La pratique de jeux vidéo : favorable ou délétère ?

D'après l'enquête HBSC (Health Behaviour in School-aged Children) de 2014 réalisée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) auprès d'adolescents de 11 à 15 ans pour identifier l'usage des écrans, les jeunes français de 13 ans sont ceux qui passent le plus de temps à jouer aux jeux vidéo : les garçons y jouent en moyenne 3 heures par jour et les filles 1,9 heures (Ngantcha, Janssen, Godeau & Spilka, 2016). De par son caractère addictif, la pratique des jeux vidéo peut sembler délétère, et mérite d'être accompagnée. L'OMS a ainsi ajouté en juin 2018 le trouble du jeu vidéo à la section « Troubles des addictions » de la Classification Internationale des Maladies (CIM – 11). Pourtant, si la pratique peut devenir addictive, elle permet aussi de développer certaines capacités.

Les principales recherches concernent les effets de la pratique de jeux vidéo d'action, et uniquement de ceux-ci, à l'exclusion d'autres formes telles que les jeux vidéo de type simulation de vie (SIMS) ou de type puzzle (Tetris), pour ne citer qu'elles. Les travaux menés par Daphné Bavelier et son équipe (voir la méta-analyse de Bediou *et al.*, 2018) ont montré que la pratique de certains jeux vidéo d'action

développe des capacités visuelles, attentionnelles, spatiales, ainsi que de prise de décision. Dans une expérience typique, des participants sont testés au laboratoire au cours de la réalisation d'une certaine tâche. Par exemple, une tâche d'attention spatiale : ils doivent rechercher un stimulus cible (chien) parmi un ensemble d'éléments (un troupeau d'autres animaux). Les participants sont ensuite assignés aléatoirement à un groupe expérimental. Selon le groupe d'assignation, ils vont jouer à des jeux vidéo d'action ou à des jeux vidéo type SIMS ou Tetris, dits « contrôles ». Sur une période de 10 à 12 semaines, ils viennent jouer à intervalles réguliers au laboratoire et cumulent plusieurs dizaines d'heures de pratique au total. Ils reviennent ensuite quelques jours, mois, voire années plus tard pour être testés à nouveau sur la tâche initiale, car l'objectif est de mesurer un effet non seulement immédiat mais également durable de leur pratique. Les travaux ont mis en évidence un accroissement des capacités visuelles pour les joueurs de jeux vidéo d'action : meilleure discrimination visuelle, meilleure sensibilité aux contrastes, meilleure lecture de lettres, meilleure capacité à distinguer plusieurs niveaux de couleurs et même à effectuer des tâches de rotations mentales.

Comment la pratique de jeux vidéo permet-elle de développer ces compétences ? Comme le notent les auteurs, l'acquisition d'un meilleur contrôle attentionnel, c'est-à-dire d'une focalisation plus exclusive sur une tâche donnée, parait en être la source. Le contrôle attentionnel peut s'évaluer par des tests d'inhibition, en demandant par exemple à un participant d'appuyer sur un bouton dès qu'il voit un carré et en faisant varier les conditions d'apparition de ce carré. Il est possible ainsi d'évaluer l'impulsivité et l'attention soutenue. La mesure d'impulsivité s'obtient dans un contexte où les carrés sont très fréquents et où il faut quelquefois retenir une réponse devenue automatique et ne pas répondre. Pour la mesure de l'attention soutenue, il s'agit à l'inverse d'une condition où il n'y a presque jamais de carré, donc presque jamais de réponse à donner, sauf en de rares cas. Une étude comparant des participants jouant à plus de 5 heures de jeux vidéo d'action par semaine et des participants n'y

jouant que rarement a conduit à conclure que les joueurs de jeux vidéo d'action étaient meilleurs dans les deux tâches : ils étaient à la fois moins impulsifs et avaient une meilleure attention soutenue. Ainsi, ces joueurs développent un meilleur contrôle attentionnel, qui leur permet d'ignorer les tâches interférentes et potentiellement d'apprendre plus vite.

Ces résultats remettent en cause l'idée selon laquelle la pratique des jeux vidéo induit des difficultés de concentration (*cf.* p.138 « Les écrans empêchent-ils réellement de se concentrer ? »), car les joueurs ont en réalité un meilleur contrôle attentionnel. L'accroissement de la concentration induit par la pratique de jeux vidéo d'action pourrait avoir des répercussions pour les apprentissages scolaires. Ainsi, une étude a comparé les performances en lecture de joueurs de jeux vidéo d'action et de non-joueurs, dans une tâche de lecture de pseudo-mots (« gibois » par exemple). Ces mots étaient présentés très rapidement à l'écran de façon à rendre la tâche difficile, même pour des lecteurs experts. Les résultats ont montré que les joueurs de jeux vidéo lisent correctement un plus grand nombre de mots que les non-joueurs (Franceschini, Gori, Ruffino, Pedrolli & Facoetti, 2012). On peut de cette manière concevoir puis évaluer des jeux vidéo d'action afin de développer l'empan visuo-attentionnel des élèves de 6 ans et ainsi améliorer leurs compétences en lecture. Ainsi, sans qu'il s'agisse de considérer que la pratique de jeux vidéo d'action constitue la panacée pour favoriser les apprentissages à l'école, les recherches ont permis de montrer que le constat était beaucoup moins défavorable que les idées reçues n'incitaient à le penser et qu'au contraire les retombées positives étaient loin d'être négligeables.

L'écran peut-il se substituer à l'humain ?

Une personne apprend mieux lorsqu'elle est engagée dans une tâche et lorsqu'elle dispose d'un retour d'information. Que le digital favorise l'engagement est sujet à controverse (*cf.* l'ouvrage d'André Tricot et de Franck Amadieu, *Apprendre avec le numérique, Mythes et réalités*). En revanche, il permet de toute évidence un retour

d'information immédiat et potentiellement différencié selon l'élève. Les technologies numériques offrent donc des possibilités d'individualiser les apprentissages, ce qu'exploite le domaine des tutoriels d'apprentissage. Toutefois, l'apprentissage est aussi un mécanisme social et, de ce point de vue, l'apprentissage avec un écran soulève des difficultés, en particulier chez les plus jeunes.

Le mécanisme d'attention conjointe est en effet crucial pour apprendre : de nombreux travaux montrent que, dès la première année de vie, la présence d'un tuteur humain permet d'orienter l'attention de l'enfant vers l'objet de l'apprentissage. La présence de l'adulte induit également une posture pédagogique qui incite l'enfant à interpréter l'information présentée comme importante et à tenter de la généraliser. L'écran est alors susceptible de créer une rupture dans les interactions. Des études ont porté sur la différence entre un apprentissage par le biais d'un écran ou en présence d'un adulte. De jeunes enfants américains âgés de 10 mois suivaient une série de 12 séances de 25 minutes d'apprentissage du chinois soit en présence effective d'une enseignante de chinois, soit par le biais d'un enregistrement vidéo de la même enseignante qui présentait la même séquence mais sans interaction. Les séances en présence de l'enseignante ont permis aux enfants de conserver la discrimination d'un contraste en chinois qu'ils perdent normalement à cet âge-là ; en revanche, l'exposition à l'enseignant par le biais d'un écran n'a pas permis de le maintenir (Kuhl, Tsao, & Liu, 2003). Ainsi, si les enfants sont exposés aux écrans au détriment des interactions sociales avec leurs pairs ou les adultes, cela peut nuire à certains apprentissages. Et le rôle de l'interaction sociale dans l'éducation ne se limite pas aux apprentissages précoces. De nombreux travaux mettent en avant le rôle du débat et de la collaboration pour apprendre des notions complexes. Par exemple, des enfants de 10 ans devant résoudre un problème complexe réussissent mieux lorsqu'ils peuvent raisonner à plusieurs que s'ils sont seuls et arrivent à convaincre les autres élèves de la bonne réponse même s'ils n'ont pas particulièrement confiance en eux (Trouche, Sander, Mercier, 2014). Ces travaux montrent que des raisonnements de meilleure qualité sont produits en groupe, car

nous sommes plus exigeants dans l'évaluation des arguments d'autrui que des nôtres. L'apprentissage seul devant un écran ne permet pas cela.

Les écrans empêchent-ils réellement de se concentrer ?

L'idée est communément répandue que l'exposition intensive aux écrans entrainerait une perte de concentration. Les jeux vidéo d'action ne semblent pas produire cet effet, mais qu'en est-il des autres médias ? Une composante essentielle de l'attention est la sélection opportune de l'objet d'attention. Par exemple, orienter son attention sur le « téléphone portable » au lieu de la « voiture » au moment de traverser la rue est inopportun. Cela peut être qualifié d'inattention, car, dans ce contexte, l'information importante est la présence d'un véhicule. Or une difficulté pour sélectionner l'objet opportun vient du fait que notre système attentionnel semble fonctionner selon le proverbe « mieux vaut prévenir que guérir ». Cela signifie que notre cerveau intègre le maximum d'informations possible pour nous alerter en cas de danger ou de difficulté.

En effet, il est préférable pour notre survie de ne pas ignorer cette branche qui bouge par terre, afin de ne pas se laisser mordre le jour où celle-ci se révèle être un serpent. De même, il est préférable de se laisser distraire par toutes les sonneries de téléphone, plutôt que de ne pas entendre l'alarme incendie le jour où celle-ci retentit. On parle de système d'alerte qui nous focalise vers les sollicitations externes afin de contrôler et d'anticiper les manifestations de notre environnement (Lachaux, 2011). Dès lors, on imagine bien que, face à un écran, nous allons être « happés » par toutes les sollicitations possibles : notifications, changement de couleur, clignotement. Toutefois, être concentré, c'est décider de ne pas réagir aux stimulus non nécessaires à notre tâche. Pour cela, on peut décider de hiérarchiser ses objectifs afin de porter attention aux seules sollicitations nécessaires à la réalisation de notre tâche. Même si inhiber les informations non pertinentes devient une tâche, c'est probablement un meilleur compromis. On peut pour cela adopter une

posture de métaconscience de son attention avec pour objectif de toujours avoir conscience de celle-ci (Schooler *et al.*, 2011). Cela revient à ce que notre attention se concentre sur une tâche principale à 80 % et à 20 % sur notre attention elle-même. Dès que nous sentons que nous sommes en train de perdre notre attention, nous pouvons alors rétablir notre contrôle. Malgré son cout attentionnel, cette posture a un bénéfice. Ce type de travail peut être mené avec des enfants. C'est par exemple le cas au sein du programme ATOL (ATtentif à l'écOLe, Lachaux, 2013) qui entraine les enfants, dès l'école primaire, à développer une meilleure maitrise de leur attention grâce à une prise de conscience de sa fragilité. Axé sur la démarche d'investigation, le guide pédagogique *Les écrans, le cerveau… et l'enfant* (Pasquinelli *et al.*, 2013) de la Fondation La main à la pâte vise quant à lui à faire découvrir aux élèves les fonctions du cerveau mises en jeu par « les écrans » pour un usage raisonné et autorégulé de ce média.

CONCLUSION

Tout évènement que nous vivons, qu'il s'agisse de lire un livre, de discuter avec des amis, de manger, de dormir, etc., transforme notre cerveau, et c'est le cas aussi du contact avec les écrans. Il n'y a rien d'intrinsèque au numérique qui s'analyse différemment de n'importe quel environnement dans lequel un individu se trouve placé. Il y a potentiellement autant d'influences à étudier qu'il existe d'environnements numériques différents et de manières d'interagir avec eux. Le fait d'être face à un écran ne constitue pas une activité plus particulière que, par exemple, d'être assis sur une chaise ou d'être entouré de gens. Hormis leur nouveauté à l'échelle de l'histoire humaine, l'activité de recherche d'information sur Internet, celle de regarder la télévision, celle d'interagir sur des réseaux sociaux, celle de rédiger un texte sur un ordinateur, celle de jouer à un jeu vidéo, etc. constituent des contextes qu'il y a peu de raison de regrouper dans une catégorie fourre-tout « écran ». Les distinctions ne devraient d'ailleurs même pas s'arrêter là, car l'influence de la pratique de jeux vidéo d'action s'avère par exemple bien différente de celle d'autres jeux vidéo, comme nous l'avons vu.

Qu'il s'agisse d'un environnement numérique ou non, ce n'est souvent pas l'immersion qui pose souci, mais son caractère plus ou moins dysfonctionnel. Sur ce plan, la surconsommation numérique peut avoir des répercussions, parfois graves, comme la déscolarisation d'un adolescent devenu incapable de quitter un jeu dans lequel il mène une vie parallèle, ou même tragiques comme un suicide causé par un cyber-harcèlement. Le parallèle avec le phénomène d'obésité est pertinent pour comprendre ce phénomène. Personne ne considèrerait comme problématique le fait de se nourrir, et les bénéfices induits par des mœurs alimentaires saines peuvent être soulignés au même titre que les conséquences négatives des déviances alimentaires. L'influence du numérique sur le cerveau est

de nature comparable. En effet, les écrans ne sont intrinsèquement porteurs d'aucun mal et leur bon usage peut être extrêmement fructueux, ce qui n'exclut pas pour autant que des comportements problématiques aient des conséquences délétères. L'expression d' « obésité numérique » est apparue récemment pour désigner cette déviance. Car même si l'on écarte tout effet magique de l'exposition aux écrans, le numérique transforme nos usages. Il a donc potentiellement des répercussions sur les pratiques éducatives, qui peuvent parfois poser souci. Ainsi, il existe une tentation politique et parfois enseignante à introduire des tablettes et des ordinateurs dans les classes ou à favoriser un usage systématique du numérique sans que les objectifs pédagogiques soient clairs. L'introduction des écrans comme de tout autre support (cahiers, ardoises, tableau) n'est pas une fin en soi. La séduction opérée par les écrans sur les enfants et adolescents est susceptible de diminuer le temps consacré aux devoirs et au sommeil, et donc les performances scolaires. L'engouement à réaliser plusieurs tâches en même temps sur différents médias n'est pas non plus sans conséquence. Le *multitasking* nuit au contrôle attentionnel sans développer en compensation de capacité particulière pour les élèves à mieux effectuer plusieurs tâches en même temps. Il diminue même la qualité de ce qu'ils réalisent du fait du cout induit par les autres activités et en particulier du cout de transition (« *switching* ») d'une activité à une autre. Cela peut provoquer un manque d'attention d'une part de la classe, qui tente de suivre le cours et d'être connectée parallèlement sur des réseaux sociaux.

Comme pour l'obésité alimentaire, l'environnement culturel d'une personne, les pratiques socialement légitimées, les politiques d'information et de prévention conduites, sont essentiels pour qu'un phénomène potentiellement positif et enrichissant ne devienne pas source de déviance. « Mangez 5 fruits et légumes par jour » ou « Pratiquez une activité physique régulière » sont des slogans qui, par obligation légale, accompagnent chaque publicité pour une barre chocolatée. La question de l'immersion dans les environnements numériques et de ses répercussions cognitives et éducatives peut

aussi être traitée comme une question de santé publique. De ce point de vue, les technologies peuvent faire l'objet de pratiques favorables au développement d'habiletés cognitives utiles pour les apprentissages scolaires, et le cercle vicieux peut devenir un cercle vertueux si la mesure de quelques enjeux est prise. Nous avons vu par exemple que certains jeux vidéo renforcent les capacités de concentration. Tout comme le fait que notre système attentionnel puisse être entrainé, il est possible de s'exercer à gérer les sollicitations et à porter moins d'attention à des distracteurs. Des politiques peuvent être conduites dans ce sens. Le parallèle avec l'obésité alimentaire est d'autant plus justifié que les mêmes populations tendent à en être victimes. Des comportements d'addiction et d'usages appauvris du numérique s'observent en effet dans des milieux défavorisés et ont des conséquences psychologiques, au même titre que la surconsommation du cocktail d'aliments gras-sucrés a des conséquences physiologiques.

Nous souhaitons souligner non pas la rupture – comme le mythe l'affirme – mais la continuité entre les environnements matériels et les environnements numériques, extrêmement utile pour démystifier certaines croyances. En effet, les humains ont conçu et produit les environnements numériques ; ils sont le fruit de leur cerveau. Ils les ont modelés selon leurs propres concepts, selon leurs propres connaissances de leur environnement matériel, seule source expérientielle antérieure aux environnements numériques. Le vocabulaire associé au numérique en témoigne, car il fait le pont entre environnement matériel et digital : un bureau, un site, un dossier, une corbeille, un menu, une page, un virus, un pirate, naviguer, enregistrer, consulter, lire, écrire, copier, coller, connecter, parcourir... autant de mots que l'on trouvait dans les dictionnaires à une époque où le digital tenait de la science-fiction. Cela signifie qu'au-delà des bouleversements majeurs induits par le numérique, il subsiste des analogies entre contextes numériques et matériels.

Ainsi, les relations entre numérique et éducation peuvent aussi s'examiner sous le spectre de la continuité. Par exemple, l'idée est répandue que les enfants seraient de plus en plus violents à cause

des écrans. En réalité, il n'y a pas d'études scientifiques à notre connaissance qui prouvent un lien entre consommation importante d'écran et violence. En revanche, il a été montré que l'exposition à un jeu vidéo violent désensibilise les participants à des scènes de violence ultérieures. Ainsi, dans une étude (Carnagey, Anderson & Bushman, 2007), des participants ont joué à un jeu vidéo violent ou à un jeu non violent pendant vingt minutes. Ensuite, les participants ont regardé un film de dix minutes contenant des scènes de violence tandis que leur fréquence cardiaque et leur réponse électrodermale étaient enregistrées. Une fréquence cardiaque et une réponse électrodermale plus faibles en regardant les scènes violentes ont été observées parmi les participants qui avaient joué au jeu vidéo violent que parmi leurs homologues de l'autre groupe. Ceci montre une désensibilisation physiologique à la violence. Dans la littérature scientifique, il fait consensus que regarder des images violentes rend moins sensible à la violence et donc davantage susceptible d'être violent. Ceci est vrai, tout comme évoluer dans un milieu violent rend violent. Ce n'est donc pas le média « écran » en lui-même qui rend violent, mais la nature des scènes vécues. Nous revenons à la question des politiques à conduire pour que la violence ne se banalise pas parmi les élèves. Ceci relève de l'adaptation à des évolutions sociétales et non à une influence propre au digital.

Une autre idée répandue est que les écrans conduisent les élèves à vivre hors du monde réel, dans des univers parallèles. Ainsi, on a tendance à préférer voir un enfant en train de jouer au ballon avec ses amis plutôt que de le voir seul face à son écran, même s'il joue en réseau avec ces mêmes amis. Toutefois, les écrans coupent-ils des véritables expériences ? Et qu'est-ce qui rend une expérience « véritable » ? Des travaux sur la réalité virtuelle s'interrogent sur cette notion d'expérience et font appel à la sensation subjective de « présence ». Dans un environnement digital, cette sensation de présence dépend de dimensions telles que le réalisme du décor, l'engagement dans la situation et la dimension de présence spatiale. La réalité virtuelle a ainsi été utilisée pour traiter des patients atteints de phobies en accroissant progressivement la sensation de présence.

Et les applications éducatives deviennent de plus en plus nombreuses, en particulier à travers ce que l'on appelle les « jeux sérieux ». Par exemple, des joueurs de plusieurs clubs de la Ligue nationale de football américain s'entrainent hors du terrain grâce au système STRIV développé à Stanford. Cet environnement digital les aide à mémoriser certaines stratégies par l'observation renouvelée de différentes phases de match. Ils peuvent répéter de nombreuses fois un jeu tout en évitant de se blesser. Ainsi, dans un monde artificiel, il est possible de réaliser une activité physique, sensorimotrice, seul ou même à plusieurs, avec des degrés de liberté supplémentaires par rapport à un environnement matériel. En quoi cette expérience individuelle ou collective serait-elle coupée du réel ? Là encore, l'idée de la continuité entre les contextes matériels et numériques démystifie la question. Pourquoi la lecture d'un livre constituerait une expérience plus réelle que d'être immergé dans un environnement digital ? Même si le monde digital n'est pas interchangeable avec le monde matériel, il n'est pas moins réel : enfants, adolescents et adultes échangent des conseils, jouent en réseau, élaborent ensemble des stratégies, organisent des compétitions... Gageons que la frontière entre matériel et immatériel va se faire de plus en plus ténue, ce qui permettra aux questions éducatives de retrouver leur acuité et aux médias d'être mobilisés selon les bénéfices induits pour le développement des élèves, indépendamment d'une frontière dont l'artificialité paraitra de plus en plus évidente.

Un grand bouleversement opéré par les écrans pour les apprentissages scolaires est certainement la relation au savoir qui se voit transformée. En effet, une multitude d'informations est désormais accessible à tout moment : la possibilité est offerte de faire appel davantage à des mémoires externes et potentiellement de stocker moins d'informations dans notre propre mémoire. Toutefois, cette idée de la connaissance à portée de clic est largement un miroir aux alouettes dans la mesure où une personne ne peut chercher que ce qu'elle est en mesure de penser. Si Internet modifie profondément notre accès au savoir en démultipliant les lieux et temps de consultation d'informations, la question de la construction des savoirs

reste entière. Accéder à tous les livres comme à tous les sites du monde ne se substitue pas à la connaissance ; ce qui est central, c'est l'appropriation : rendre les savoirs siens. Un élève ne pense pas grâce à des stocks d'informations situées hors de son cerveau, mais au travers de concepts reposant sur des expériences vécues et assimilées. Voir Internet comme une mémoire externe revient à dissocier des connaissances manipulées, extérieures à la personne, de la pensée qui manipule ces connaissances, ce qui est une aberration psychologique.

En effet, il n'existe pas d'un côté des concepts humains, et d'un autre côté un stock de savoirs digitalisés dans lequel un élève pourrait puiser à loisir. Une telle conception – qui ignore la distinction entre une information externe et un savoir internalisé – relève d'une conception naïve de l'apprentissage, où l'école n'aurait jamais eu grande place. Le numérique replace en fait les enseignants au cœur du processus pédagogique, dans sa fonction la plus noble, celle de former les esprits. Il pose en effet dans des termes nouveaux des questions anciennes et recèle un potentiel remarquable. Espérer un apprentissage par « immersion » en laissant les jeunes livrés à eux-mêmes sur Internet ou en leur proposant un patchwork d'exercices piochés çà et là sans cohérence pédagogique, c'est courir à l'échec. En revanche, s'appuyer sur les avancées de la psychologie des apprentissages et intégrer dans sa palette des outils et des environnements dédiés ou adaptés à l'enseignement (vidéos, tutoriels, simulateurs, etc.), au service d'une pédagogie cohérente, est une stratégie qui n'a rien d'utopique. Les technologies numériques n'ont pas pour seule vocation de décharger les esprits : elles concourent aussi à les former.

CONCLUSION

Chapitre après chapitre, nous avons abordé dans cet ouvrage une série d'affirmations relatives à l'éducation tirant leur légitimité d'une certaine interprétation de résultats neuroscientifiques. En nous appuyant sur des travaux principalement en neurosciences, en psychologie et en sciences de l'éducation, nous avons revisité ces affirmations. À chaque fois, nous avons essayé de proposer au lecteur un cadre, ainsi qu'une analyse de travaux, permettant une mise en perspective et conduisant à motiver au mieux un ensemble de conclusions. Comme c'était prévisible, aucun mythe n'est sorti indemne de cette étude. Nous proposons, pp. 150-153, la reformulation la plus proche de la version revisitée des mythes, sachant qu'il est toujours périlleux de remplacer un raccourci par un autre et que ces tentatives ne prétendent évidemment pas se substituer au contenu des chapitres eux-mêmes. Elles se veulent toutefois fidèles à l'esprit de leur conclusion et auraient pu constituer les titres des chapitres si le choix n'avait pas été fait de les intituler par l'énoncé des mythes eux-mêmes.

Les assertions qui ont été l'objet des chapitres de cet ouvrage ne constituent pas une liste exhaustive des mythes issus des neurosciences s'appliquant à l'éducation. D'autres auraient pu figurer au sommaire et ont été approfondis dans d'autres ouvrages (Paquinelli, 2015) tant la neurophilie ambiante rend populaires des méthodes, recommandations ou interprétations aux fondements des plus ténus mais ornées du vernis des neurosciences. L'une des plus populaires, pourtant si peu défendable qu'il n'y avait guère intérêt à lui consacrer tout un chapitre, est celle qui affirme que « *nous utilisons au maximum 10 % de notre cerveau* ». Cette idée séduit parce qu'elle suggère que nous disposerions d'un potentiel insoupçonné au sein duquel il nous serait possible de puiser dès lors que nous saurions « libérer notre cerveau », comme le promeuvent certains gourous médiatiques. L'idée des 10 % va pourtant à l'encontre de tout ce que nous savons du cerveau humain, de son

anatomie, de son mode de fonctionnement, de son usage au quotidien. Il suffit de placer une personne dans une machine d'imagerie IRMf pendant 24 heures pour voir toutes les régions de son cerveau en activité à un moment ou à un autre. Pis, l'idée qu'utiliser 100 % de notre cerveau à un instant donné permettrait de libérer des capacités cognitives extraordinaires a aussi peu de sens que l'idée selon laquelle l'usage simultané de 100 % des touches de notre clavier d'ordinateur permettrait de débloquer une nouvelle puissance informatique. Nous utilisons en moyenne 1 % de notre clavier d'ordinateur, avec parfois des pics à 2 % ou 3 % lors de l'utilisation de raccourcis impliquant plusieurs touches ; l'idée ne viendrait pourtant à personne qu'utiliser 95 % des touches simultanément serait particulièrement bénéfique.

À l'instar de la « *Brain Gym®* », ou éducation kinesthésique, selon laquelle certaines activités physiques spécifiques éveilleraient particulièrement le cerveau des élèves en favorisant par exemple la connexion entre leurs deux hémisphères, ou de « *l'effet Mozart* », selon lequel écouter du Mozart ferait gagner instantanément quelques points de QI, la « *théorie des 10 %* » ne résiste pas à un bref examen critique. Mais encore faut-il déployer une vigilance épistémique[6] suffisante pour oser douter des affirmations qui semblent auréolées d'une légitimité neuroscientifique éprouvée alors qu'elles s'appuient en réalité sur des résultats de recherches indument extrapolés et déformés. Face à une surenchère médiatique et à des individus mal intentionnés souhaitant profiter de l'engouement neurophile, il importe plus que jamais de remettre en cause les affirmations aux allures neuroscientifiques dépourvues de sources solides. Lorsqu'une nouvelle méthode éducative promet des résultats miraculeux en faisant appel à « une nouvelle étude sur le cerveau », il convient d'avancer avec prudence.

Une de nos étudiantes achevant sa formation d'enseignante à l'école primaire, concluait son Travail d'Intégration de Fin d'Études (TIFE), qui portait sur ces questions, de la manière suivante : « Je me demande finalement pourquoi l'université ne nous met pas en garde quant à ces neuromythes ? En commençant ce travail, je ne

comprenais pas pourquoi je n'avais jamais, au cours de ma formation, entendu parler de la *Brain Gym®* mais désormais je me demande pourquoi je n'ai jamais entendu parler des neuromythes. » (Stern, 2018). Lorsque l'on sait que 88 % des enseignants d'école primaire au Royaume-Uni croient dans la validité scientifique de la *Brain Gym®* et que 93 % sont convaincus par celle des théories des styles d'apprentissage (Howard-Jones, 2014), on ne peut qu'acquiescer. Cela est d'autant plus important si on considère les conséquences pour les élèves : temps de classe qui aurait pu être bien mieux mis à profit, voire méthodes d'apprentissage aux effets plutôt délétères. Un enjeu majeur, pour la formation initiale et continue aux métiers de l'enseignement, est de promouvoir le développement de l'esprit critique sur ces questions et l'intégration des travaux des neurosciences dans le champ de l'éducation. Cela conduit à envisager une démarche formative pour les enseignants qui aille au-delà des postures actuelles alternant entre d'une part un « *neurobashing*[7] » qui ignore ou rejette toute contribution de ce champ sous couvert d'un réductionnisme et d'une absence d'éclairage par la pratique, et d'autre part une naïve acceptation de toute recommandation supposément validée par des données d'imagerie cérébrale.

Sur le plan de la recherche, la question du lien entre les recherches en neurosciences et en sciences de l'éducation n'est pas simple non plus. En effet, les sciences de l'éducation, dans leur diversité, entretiennent un rapport ambigu avec les neurosciences. D'un côté, elles rejettent des interprétations jugées sommaires et excessives en raison d'indicateurs qui, bien qu'objectivables sur le plan de l'activité cérébrale, paraissent souvent fort éloignés des questions d'éducation qu'ils sont supposés éclairer. D'un autre côté, elles sont aussi tentées de soutenir une démarche empirique dans laquelle des traces physiologiques de processus psychologiques sont recueillies pour étayer ou affaiblir des théories qui restent pour beaucoup l'objet de controverses idéologiques et pour lesquelles toute contribution empirique de nature à départager des points de vue antagonistes est bienvenue. Nous sommes dans une phase passionnante de l'avancée

des connaissances où des intégrations interdisciplinaires peuvent être extrêmement fructueuses dès lors que des postures antagonistes – qu'elles relèvent de crédos théoriques et méthodologiques en opposition ou de clivages entre recherche et terrain – sont surmontées.

Avoir conscience du chemin gigantesque allant de la découverte d'une molécule à la commercialisation d'un médicament permet de garder à l'esprit qu'aucune recherche de neuroscience fondamentale ne pourrait trouver une application directe dans la classe sans étapes préalables, tout comme une expérience d'enseignement totalement déconnectée de la recherche aurait peu de chances de conduire à de nouveaux principes fondamentaux d'éducation. Les conditions de développement d'une véritable science interventionnelle en éducation paraissent réunies (Gentaz, 2018), même si les modes d'alliance entre la recherche et le terrain restent largement à construire, pour que la recherche avance en prise avec le terrain, et que la culture du terrain qui se développe dans le cadre de cette alliance rende évidente la vigilance épistémique précédemment évoquée. Cette vigilance permet d'éviter de tomber dans les pièges de la fascination des neurosciences tout en étant en mesure d'intégrer dans des activités de classe les retombées plus fines qui se dégagent de ces travaux. Car le potentiel est là, comme en attestent selon nous les conclusions auxquelles les différents chapitres de cet ouvrage ont conduit. Loin d'être aussi tapageuses que les mythes originaux, elles n'en ont pas moins une portée incontestable pour l'éducation, pouvant contribuer au développement de méthodes pédagogiques innovantes fondées sur une interrelation entre le terrain et la recherche.

DANS L'IRM, TOUT S'ÉCLAIRE

En étudiant cette idée, nous avons pu identifier en quoi la complexité des techniques employées en imagerie cérébrale et une tendance à suspendre notre esprit critique face à « l'allure séduisante » des images de cerveau appellent à une prudence particulière dans l'interprétation des résultats. Nous sommes ainsi arrivés à la conclusion que…

DANS L'IRM, TOUT CE QUI BRILLE N'EST PAS OR

TOUT SE JOUE AVANT 1/2/3/4/5/6/7/8 ANS

Cette croyance nous a quant à elle permis de plonger dans l'étude du développement cérébral, et de mettre en avant le fait que le cerveau se transforme tout au long de la vie à des rythmes variés et de manière non uniforme. Il n'y a pas d'âge à partir duquel sa structure se cristalliserait définitivement, si bien qu'en ce qui concerne les apprentissages…

RIEN N'EST JAMAIS TOTALEMENT JOUÉ D'AVANCE

À CHACUN SON STYLE D'APPRENTISSAGE

Cette conception nous a amenés à interroger l'efficacité des méthodes centrées sur les styles supposés des élèves. L'inefficacité maintes fois avérée de telles approches et, à l'inverse, les résultats concluants de recherches qui favorisent la sollicitation de plusieurs modalités sensorielles, nous poussent à conclure que, malgré les préférences individuelles…

UN APPRENTISSAGE PLURIMODAL EST UN APPRENTISSAGE QUI A DU STYLE

IL EXISTE 8 FORMES ET DEMIE D'INTELLIGENCE

Ce mythe n'a pas résisté aux analyses corrélationnelles qui ont montré que les formes d'intelligence définies par Gardner étaient liées les unes aux autres, et que les tentatives de valider empiriquement sa théorie n'aboutissaient pas. Les théories misant sur une quantification globale de l'intelligence se sont avérées en revanche moins monolithiques qu'il n'y parait. Nous avons pu aboutir à la conclusion que…

L'INTELLIGENCE A UNE MULTIPLICITÉ DE FACETTES EN

INTERRELATION

QUAND JE DORS, J'APPRENDS

Cette idée est séduisante car elle suggère qu'il serait possible d'optimiser notre sommeil pour apprendre à moindre cout. L'examen des études sur la question a amené à diminuer la portée de cette théorie sans complètement la contredire, car le sommeil s'est avéré précieux pour les apprentissages : l'acquisition sans effort de connaissances complexes pendant le sommeil reste du domaine de la science fiction, mais il s'avère en revanche que...

QUAND JE DORS, JE CONSOLIDE MES CONNAISSANCES DE LA JOURNÉE

SE TROMPER, C'EST ÉCHOUER

Cette phrase semble énoncer une lapalissade tant ses deux principaux termes paraissent synonymes. Pourtant, nous avons vu que, sur un plan neuroscientifique, l'erreur est avant tout traitée comme un écart à une attente, et constitue ainsi une information précieuse permettant de réajuster ses conceptions, et donc d'apprendre. L'erreur est ainsi un puissant levier d'apprentissage, nous permettant d'affirmer que...

EN SE TROMPANT, ON SE DONNE DES ATOUTS POUR APPRENDRE

SI JE VEUX, JE PEUX

Plus qu'un neuromythe, cette phrase a depuis longtemps acquis un statut proverbial et relève de la sagesse populaire. Pourtant, en analysant les conditions de la réussite scolaire, il est apparu que l'amotivation entrave les apprentissages sans pour autant que la motivation ne les garantisse. Nous sommes arrivés à la conclusion que...

AMOTIVÉ, J'ÉCHOUE ; ENGAGÉ, JE RÉUSSIS

AU CONTACT DES ÉCRANS, NOTRE CERVEAU ET NOTRE FAÇON

D'APPRENDRE SE TRANSFORMENT

Enfin, cette idée répandue et polémique a pu être précisée, en montrant que les activités face aux écrans ne modifient ni les structures cérébrales ni les processus mentaux. La question de l'impact cérébral des technologies numériques est un écran de fumée détournant l'attention de la question plus subtile de l'intégration des technologies numériques pour les apprentissages et dans la salle de classe...

LES ÉCRANS NE TRANSFORMENT PAS NOTRE CERVEAU, MAIS NOTRE ACCÈS ET NOTRE RAPPORT À LA CONNAISSANCE

RÉFÉRENCES

INTRODUCTION

Andler, D. (2018). *Les inquiétudes concernant l'entrée des sciences cognitives à l'école sont injustifiées*. Le Monde.

Berthier, J., Borst, G., Desnos, M., Guilleray, F., (2018). *Les neurosciences cognitives dans la classe - Guide pour expérimenter et adapter ses pratiques pédagogiques.* ESF Éditeur.

Borst, G., & Houdé, O. (2018). *Le cerveau et les apprentissages* - Cycles 1,2,3. Nathan.

Dehaene, S. (2018). *Apprendre ! : Les talents du cerveau, le défi des machines.* Odile Jacob.

Eustache, F., & Guillery-Girard, B. (2016). *La Neuroéducation: La mémoire au cœur des apprentissages*. Odile Jacob.

Houdé, O. (2018). *L'école du cerveau: De Montessori, Freinet et Piaget aux sciences cognitives*. Mardaga.

Howard-Jones, P.A. (2014). *Neuroscience and education: myths and messages. Nature Reviews Neuroscience*, 15, 817-824.

Masson, S., & Borst, G. (2018). *Méthodes de recherche en neuroéducation*. PUQ.

Pasquinelli, E. (2012). *Neuromyths: Why do they exist and persist?. Mind, Brain, and Education*, 6(2), 89-96.

Rossi, S., Lubin, A., & Lanoë, C. (2017). *Découvrir le cerveau à l'école. Les sciences cognitives au service des apprentissages*. Paris, Canopé.

DANS L'IRM, TOUT S'ÉCLAIRE

Ali, S. S., Lifshitz, M., & Raz, A. (2014). Empirical neuroenchantment: from reading minds to thinking critically. Frontiers in human neuroscience, 8, 357.

Anonymous. Acupuncture: brain images demonstrate pain relief. Pain Cent. Nerv. Syst. Week 13 (17 Dec 1999).

Anonymous. Fear of pain may be worse than pain itself. The New York Times (New York) 14 (22 Jun 1999).

Anonymous. Odds are that gambling addict's brain is built differently. Times–Picayune (New Orleans) 3 (18 Sep 2003).

Bechlivanidis, C., & Lagnado, D. A. (2013). Does the "why" tell us the "when"?. *Psychological science*, 24(8), 1563-1572.

Bennett, C. M., Miller, M. B., & Wolford, G. L. (2009). Neural correlates of interspecies perspective taking in the post-mortem Atlantic Salmon: an argument for multiple comparisons correction. Neuroimage, 47 (Suppl 1), S125.

Gentaz, E. (2017). École, neurosciences, neuro-éducation, neuropédagogie… Des neuro-illusions cognitives ? ANAE, 147, 107-110.

Morrot, G., Brochet, F., & Dubourdieu, D. (2001). The color of odors. *Brain and language*, 79(2), 309-

320.

McCabe, D. P., & Castel, A. D. (2008). Seeing is believing: The effect of brain images on judgments of scientific reasoning. Cognition, 107(1), 343-352.

Racine, E., Bar-Ilan, O., & Illes, J. (2005). fMRI in the public eye. Nature Reviews Neuroscience, 6(2), 159.

Ramus, F. (2018). Les Neurosciences peuvent-elles éclairer l'éducation ? Semaine du cerveau 2018, Département d'Études Cognitives de l'ENS, 16 mars 2018, Paris, France.

TOUT SE JOUE AVANT 1/2/3/4/5/6/7/8 ANS

Anderson, V., Spencer-Smith, M., & Wood, A. (2011). Do children really recover better? Neurobehavioural plasticity after early brain insult. Brain, 134(8), 2197-2221.

Cesana-Arlotti, N., Martín, A., Téglás, E., Vorobyova, L., Cetnarski, R., & Bonatti, L. L. (2018). Precursors of logical reasoning in preverbal human infants. Science, 359(6381), 1263-1266.

Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: changes in grey matter induced by training. Nature, 427(6972), 311.

Draganski, B., Gaser, C., Kempermann, G., Kuhn, H. G., Winkler, J., Büchel, C., & May, A. (2006). Temporal and spatial dynamics of brain structure changes during extensive learning. Journal of Neuroscience, 26(23), 6314-6317.

Denison, S., & Xu, F. (2014). The origins of probabilistic inference in human infants. Cognition, 130(3), 335-347.

Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., ... & Rapoport, J. L. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during childhood through early adulthood. Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America, 101(21), 8174-8179.

Lewis, T. L., & Maurer, D. (2005). Multiple sensitive periods in human visual development: evidence from visually deprived children. Developmental psychobiology, 46(3), 163-183.

Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S., & Frith, C. D. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. Proceedings of the National Academy of Sciences, 97(8), 4398-4403.

Maguire, E. A., Woollett, K., & Spiers, H. J. (2006). London taxi drivers and bus drivers: a structural MRI and neuropsychological analysis. Hippocampus, 16(12), 1091-1101.

Roussel, S., & Gaonac'h, D. (2017). L'apprentissage des langues. Retz.

Vezina, J-F. (2015). Tout se joue avant 100 ans. Les éditions de l'homme.

Wynn, K. (1996). Infants' individuation and enumeration of sequential actions Psychol. Sci. 7, 164–169

Wynn, K. (1998). Psychological foundations of number: Numerical competence in human infants. Trends in cognitive sciences, 2(8), 296-303.

Werker, J. F., & Hensch, T. K. (2015). Critical periods in speech perception: new directions. Annual review of psychology, 66.

Zatorre, R. J., Fields, R. D., & Johansen-Berg, H. (2012). Plasticity in gray and white: neuroimaging changes in brain structure during learning. Nature neuroscience, 15(4), 528.

À CHACUN SON STYLE D'APPRENTISSAGE

Calvert, G. A., Campbell, R., & Brammer, M. J. (2000). Evidence from functional magnetic resonance imaging of crossmodal binding in the human heteromodal cortex. Current biology, 10(11), 649-657.

Coffield, F., Moseley, D., Hall, E., & Ecclestone, K. (2004). Learning styles and pedagogy in post-16 learning: A systematic and critical review.

Constantinidou, F., & Baker, S. (2002). Stimulus modality and verbal learning performance in normal aging. Brain and language, 82(3), 296-311.

Cook, D. A., Thompson, W. G., Thomas, K. G., & Thomas, M. R. (2009). Lack of interaction between sensing–intuitive learning styles and problem-first versus information-first instruction: A randomized crossover trial. Advances in Health Sciences Education, 14(1), 79-90.

Desmarais, M. C., & Baker, R. S. (2012). A review of recent advances in learner and skill modeling in intelligent learning environments. User Modeling and User-Adapted Interaction, 22(1-2), 9-38.

Geake, J. (2008). Neuromythologies in education. Educational Research, 50(2), 123-133.

Gellevij, M., Van Der Meij, H., De Jong, T., & Pieters, J. (2002). Multimodal versus unimodal instruction in a complex learning context. The Journal of Experimental Education, 70(3), 215-239.

Henson, R. K., & Hwang, D. Y. (2002). Variability and prediction of measurement error in Kolb's learning style inventory scores a reliability generalization study. Educational and Psychological Measurement, 62(4), 712-727.

Huth, A. G., Nishimoto, S., Vu, A. T., & Gallant, J. L. (2012). A continuous semantic space describes the representation of thousands of object and action categories across the human brain. Neuron, 76(6), 1210-1224.

Massa, L. J., & Mayer, R. E. (2006). Testing the ATI hypothesis: Should multimedia instruction accommodate verbalizer-visualizer cognitive style?. Learning and Individual Differences, 16(4), 321-335.

Mayer, R. E. (Ed.). (2005). The Cambridge handbook of multimedia learning. Cambridge university press.

McNamara, D. S., Kintsch, E., Songer, N. B., & Kintsch, W. (1996). Are good texts always better? Interactions of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. Cognition and instruction, 14(1), 1-43.

Murphy, G. L. (2002). The Big Book of Concepts (Bradford Books).

Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2008). Learning styles: Concepts and evidence. Psychological science in the public interest, 9(3), 105-119.

Rosch, E., & Mervis, C. B. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. Cognitive psychology, 7(4), 573-605.

Veres III, J. G., Sims, R. R., & Shake, L. G. (1987). The reliability and classification stability of the learning style inventory in corporate settings. Educational and Psychological Measurement, 47(4), 1127-1133.

IL EXISTE 8 FORMES ET DEMIE D'INTELLIGENCE

Colom, R., Jung, R. E., & Haier, R. J. (2006). Distributed brain sites for the g-factor of intelligence. Neuroimage, 31(3), 1359-1365.

Gardner, H. (1983), Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences, Basic Books.

Gignac, G., Vernon, P. A., & Wickett, J. C. (2003). Factors influencing the relationship between brain size and intelligence. In The scientific study of general intelligence (pp. 93-106).

Gobet, F. (2011). Psychologie du talent et de l'expertise. Bruxelles: De Boeck.

Kovacs, K., & Conway, A. R. (2016). Process overlap theory: A unified account of the general factor of intelligence. Psychological Inquiry, 27(3), 151-177.

Ramus, F. (2012). L'intelligence humaine, dans tous ses états. Cerveau & Psycho L'Essentiel n°9, février-avril 2012, 4-8.

Shearer, C. B., & Karanian, J. M. (2017). The neuroscience of intelligence: Empirical support for the theory of multiple intelligences? Trends in Neuroscience and Education, 6, 211-223.

Spearman, C. (1904). " General Intelligence," objectively determined and measured. The American Journal of Psychology, 15(2), 201-292.

Visser, B. A., Ashton, M. C., & Vernon, P. A. (2006). Beyond g: Putting multiple intelligences theory to the test. Intelligence, 34(5), 487-502.

QUAND JE DORS, J'APPRENDS

Andrillon, T. (2016). "The sleeping brain at work: perceptual processing and learning in human sleep". Thèse de doctorat. Université de recherche Paris Sciences et Lettres

Andrillon, T., Pressnitzer, D., Léger, D., & Kouider, S. (2017). Formation and suppression of acoustic memories during human sleep. Nature communications, 8(1), 179.

Arzi, A., Holtzman, Y., Samnon, P., Eshel, N., Harel, E., & Sobel, N. (2014). Olfactory aversive conditioning during sleep reduces cigarette-smoking behavior. Journal of Neuroscience, 34(46), 15382-15393.

Benson, K., & Feinberg, I. (1977). The beneficial effect of sleep in an extended Jenkins and Dallenbach paradigm. Psychophysiology, 14(4), 375-384.

Jenkins, J. G., & Dallenbach, K. M. (1924). Obliviscence during sleep and waking. The American Journal of Psychology, 35(4), 605-612.

Kouider, S., Andrillon, T., Barbosa, L. S., Goupil, L., & Bekinschtein, T. A. (2014). Inducing task-relevant responses to speech in the sleeping brain. Current Biology, 24(18), 2208-2214.

Kurdziel, L., Duclos, K. & Spencer, R.M.C. (2013) Sleep spindles in midday naps enhance learning in preschool children. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 110, 17267–17272.

Quintilien, M.F., & Ouizille, C.V. (1865). Œuvres complètes de Quintilien (Volume 5). Paris, Garnier.

Rudoy, J. D., Voss, J. L., Westerberg, C. E., & Paller, K. A. (2009). Strengthening individual memories by reactivating them during sleep. Science, 326(5956), 1079

Schreiner, T., Lehmann, M., & Rasch, B. (2015). Auditory feedback blocks memory benefits of cueing during sleep. Nature communications, 6, 8729.

Stickgold, R., James, L., & Hobson, J. A. (2000). Visual discrimination learning requires sleep after training. Nature neuroscience, 3(12), 1237.

Wilhelm, I., Rose, M., Imhof, K. I., Rasch, B., Büchel, C., & Born, J. (2013). The sleeping child outplays the adult's capacity to convert implicit into explicit knowledge. Nature Neuroscience, 16(4), 391–393.

SE TROMPER, C'EST ÉCHOUER

Astolfi, J. P. (2012). L'erreur, un outil pour enseigner. ESF Sciences Humaines.

Bell, A., Swann, M., & Taylor, G. (1981). Choice of operation in verbal problems with decimal numbers. Educational Studies in Mathematics, 12, 399-420.

Bonawitz, E., Shafto, P., Gweon, H., Goodman, N. D., Spelke, E., & Schulz, L. (2011). The Double edged

Sword of Pedagogy: Instruction limits spontaneous exploration and discovery. Cognition, 120(3), 322–330.

Dehaene-Lambertz, G., & Dehaene, S. (1994). Speed and cerebral correlates of syllable discrimination in infants. Nature, 370, 292-295.2

Dehaene-Lambertz, G., & Pena, M. (2001). Electrophysiological evidence for automatic phonetic processing in neonates. Neuroreport, 12(14), 3155-3158.

Doise, W., & Mugny, G. (1981). Le développement social de l'intelligence. InterEditions.

Friston, K. (2005). A theory of cortical responses. Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological sciences, 360(1456), 815-836.

Heldmann, M., Rüsseler, J., & Münte, T. F. (2008). Internal and external information in error processing. BMC neuroscience, 9(1), 33.

Holroyd, C. B., & Coles, M. G. (2002). The neural basis of human error processing: reinforcement learning, dopamine, and the error-related negativity. Psychological review, 109(4), 679.

Holroyd, C. B., Yeung, N., Coles, M. G., & Cohen, J. D. (2005). A mechanism for error detection in speeded response time tasks. Journal of Experimental Psychology: General, 134(2), 163.

Mahmoudzadeh, M., Dehaene-Lambertz, G., Fournier, M., Kongolo, G., Goudjil, S., Dubois, J., ... & Wallois, F. (2013). Syllabic discrimination in premature human infants prior to complete formation of cortical layers. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(12), 4846-4851.

Nietzsche, F. (2012). Par-delà le bien et le mal. Paris, le Livre de Poche.

Piaget, J. (1969). Psychologie et pédagogie. Paris, Gonthiers Denoël.

Richard, J-F. (2004). Les activités mentales. Paris, Armand Colin.

Skinner, B. F. (1968). The Technology of Teaching New York: Appleton-Century-Crofts. The behavior of the establishment.

Stahl, A. E., & Feigenson, L. (2017). Expectancy violations promote learning in young children. Cognition, 163, 1-14.

Tenenbaum, J. B., Griffiths, T. L., & Kemp, C. (2006). Theory-based Bayesian models of inductive learning and reasoning. Trends in cognitive sciences, 10(7), 309-318.

Thorndike, E. L. (1913). Educational Psychology: The psychology of learning (Vol. 2). Teachers College, Columbia University.

Van der Kleij, F. M., Feskens, R. C., & Eggen, T. J. (2015). Effects of feedback in a computer-based learning environment on students' learning outcomes: A meta-analysis. Review of educational research, 85(4), 475-511.

Vosniadou, S. & Brewer, W.F. (1992). Mental models of the earth: A study of conceptual change in childhood. Cognitive Psychology, 24, 535-585.

Wacongne, C., Changeux, J. P., & Dehaene, S. (2012). A neuronal model of predictive coding accounting for the mismatch negativity. Journal of Neuroscience, 32(11), 3665-3678.

SI JE VEUX, JE PEUX

Bandura, A. (1986). Social foundations of thought and action: A social cognitive theory. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

Bressoux. Suffit-il de motiver les élèves pour qu'ils apprennent ? [en ligne] Fondation La main à la pâte, 2016 [consulté en mai 2018]. Disponible sur : .https://www.fondation-lamap.org/fr/page/55458/suffit-il-de-motiver-les-eleves-pour-quils-apprennent

Legault, L., Green-Demers, I., & Pelletier, L. (2006). Why do high school students lack motivation in the classroom? Toward an understanding of academic amotivation and the role of social support. Journal of educational psychology, 98(3), 567.

Leroy, N., & Bressoux, P. (2016). Does amotivation matter more than motivation in predicting mathematics learning gains? A longitudinal study of sixth-grade students in France. Contemporary Educational Psychology, 44-45, 41-53.

Pintrich, P. R.,Wolters, C. A., & De Groot, E. D. (1995). Motivation and self-regulated learning in different disciplines. Paper presented at the European Association for Research in Learning and Instruction Conference, Nijmegen.

Reeve, J. (2013). How students create motivationally supportive learning environments for themselves: The concept of agentic engagement. Journal of Educational Psychology, 105, 579–595.

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. American psychologist, 55(1), 68.

Schmidt, L., Lebreton, M., Cléry-Melin, M. L., Daunizeau, J., & Pessiglione, M. (2012). Neural mechanisms underlying motivation of mental versus physical effort. PLoS biology, 10(2), e1001266.

Shulman, L. S. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. Educational Researcher, 15(2), 4–14.

Taylor G., Jungert, T. Mageau G. A., Schattke, K., Dedic, H., Rosenfield, S., & Koestner, R. (2014). A self-determination theory approach to predicting school achievement over time: the unique role of intrinsic motivation. Contemporary Educational Psychology, 39, 342-358.

Vallerand, R. J., & Thill, E.E. (1993). Introduction au concept de motivation. In J. Vallerand, & et E. E. Thill (Eds), Introduction à la psychologie de la motivation (pp. 3-39). Laval : Editions études vivantes – Vigot.

Vansteenkiste, M., Sierens, E., Goossens, L., Soenens, B., Dochy, F., Mouratidis, A. Aelterman, N. Haerens L., & Beyers, W. (2012). Identifying configurations of perceived teacher autonomy support and structure: Associations with self-regulated learning, motivation and problem behavior.

AU CONTACT DES ÉCRANS, NOTRE CERVEAU ET NOTRE FAÇON D'APPRENDRE SE TRANSFORMENT

Bediou, B., Adams, D. M., Mayer, R. E., Tipton, E., Green, C. S., & Bavelier, D. (2018). Meta-analysis of action video game impact on perceptual, attentional, and cognitive skills. Psychological bulletin, 144(1), 77.

Cardoso-Leite, P., Green, C.S., & Bavelier, D. (2015). On the impact of new technologies on multitasking. Developmental Review, 35, 98-112.

Carnagey, N. L., Anderson, C. A., & Bushman, B. J. (2007). The effect of video game violence on physiological desensitization to real-life violence. Journal of experimental social psychology, 43(3), 489-496.

Carr, N. (2011). The shallows. W. W. Norton & Company.

Dehaene, S., & Cohen, L. (2011). The unique role of the visual word form area in reading. Trends Cogn Sci, 15(6), 254–62.

Franceschini, S., Gori, S., Ruffino, M., Pedrolli, K., & Facoetti, A. (2012). A causal link between visual spatial attention and reading acquisition. Current Biology, 22(9), 814-819.

Kretzschmar, F., Pleimling, D., Hosemann, J., Füssel, S., Bornkessel-Schlesewsky, I., & Schlesewsky, M. (2013). Subjective impressions do not mirror online reading effort: Concurrent EEG-eyetracking evidence from the reading of books and digital media. PloS one, 8(2), e56178.

Kuhl, P. K., Tsao, F. M., & Liu, H. M. (2003). Foreign-language experience in infancy: effects of short-term exposure and social interaction on phonetic learning. Proc Natl Acad Sci U S A, 100(15), 9096–101.

Lachaux, J. P. (2011). Cerveau attentif (Le): Contrôle, maitrise, lâcher-prise. Odile Jacob.

Ngantcha, M., Janssen, É., Godeau, E., & Spilka, S. (2016). Les pratiques d'écrans chez les collégiens. Agora débats/jeunesses, (4), 117-128.

Obradovic, I., Spilka, S., Phan, O., Bonnaire, C., & Doucouré, K. (2014). Écrans et jeux vidéo à l'adolescence. Tendances, 97, 1-6.

Pashler, H. (1994). Dual-task interference in simple tasks: data and theory. Psychological bulletin, 116(2), 220.

Projet ATOL http://www.agence-nationale-recherche.fr/Projet-ANR-13-APPR-0011

Schooler, J. W., Smallwood, J., Christoff, K., Handy, T. C., Reichle, E. D., & Sayette, M. A. (2011). Meta-awareness, perceptual decoupling and the wandering mind. Trends in cognitive sciences, 15(7), 319-326.

Serre, M. (2012). Petite poucette. Le pommier.

Small, G. W., Moody, T. D., Siddarth, P., & Bookheimer, S. Y. (2009). Your brain on Google: patterns of cerebral activation during internet searching. The American Journal of Geriatric Psychiatry, 17(2), 116-126.

Sparrow, B., Liu, J., & Wegner, D. M. (2011). Google effects on memory: Cognitive consequences of having information at our fingertips. Science, 333(6043), 776-778.

Szameitat, A. J., Vanloo, A., & Müller, H. J. (2016). Central as well as peripheral attentional bottlenecks in dual-task performance activate lateral prefrontal cortices. Frontiers in human neuroscience, 10, 119.

Trouche, E., Sander, E., & Mercier, H. (2014). Arguments, more than confidence, explain the good performance of reasoning groups. Journal of Experimental Psychology: General, 143(5), 1958.

CONCLUSION

Gentaz, E. (2018). Du labo à l'école : le délicat passage à l'échelle. La Recherche, 539, 42-46.

Howard-Jones, P.A. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. Nature Reviews Neuroscience 15, 817-824.

Pasquinelli, E. (2015). Mon cerveau, ce héros. Editions Le Pommier, Paris.

Sperber, D., Clément, F., Heintz, C., Mascaro, O., Mercier, H., Origgi, G., & Wilson, D. (2010). Epistemic vigilance. Mind & Language, 25(4), 359-393.

Stern, S. (2018). La Brain Gym® : pratique révolutionnaire ou neuromythe ? (Mémoire de travail d'intégration de fin d'études). Université de Genève.

NOTES

1. Le « pourquoi » nous dit-il le « quand » ?
2. Cette expression désigne les activités neuronales qui se produisent au cours d'un processus mental.
3. Style d'apprentissage.
4. On ne teste pas les participants lors du deuxième jour car ceux qui ont été privés de sommeil sont encore trop fatigués, ce qui introduirait un biais méthodologique. Il est nécessaire d'attendre que les participants privés de sommeil la première nuit ne soient pas plus fatigués que ceux de l'autre groupe pour pouvoir les comparer entre eux. Un test standardisé (le *Stanford sleepiness score*) est utilisé pour le vérifier.
5. L'erreur est humaine, la persévérance dans l'erreur est diabolique.
6. Un concept qui désigne les mécanismes cognitifs visant à remettre en cause les informations paraissant douteuses (Sperber *et al.*, 2010).
7. Néologisme issu de l'agrégation des termes « neurosciences » et « bashing » (attaque, en anglais, qui indique un dénigrement systématique).

DANS LA MÊME COLLECTION